สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตรวจหาจุดชำรุดของสายทองแดง
TIME DOMAIN REFLECTROMETER

โดย
นางสาวอัจฉรา บัวหยาด
นายเอกชัย ตรีสิทธิ์
นายเอกรินทร์ ปัทมขจร

เลขหมู่........
เลขทะเบียน 62541
วัน,เดือน,ปี 19 ส.ค. 2549
.b 11625983
.i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว
(ลงชื่อ)..........ผู้ตรวจ

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว
(ลงชื่อ)..........ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจหาจุดชำรุดของสายทองแดง

TIME DOMAIN REFLECTROMETER

โดย

นางสาวอัจฉรา บัวหยาด 45010956

นายเอกชัย ตรีสิทธิ์ 45010981

นายเอกรินทร์ ปัทมขจร 45010989

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.พิพัฒน์ พรหมมี

อาจารย์ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **เครื่องตรวจหาจุดชำรุดของสายทองแดง**

TIME DOMAIN REFLECTROMETER

ผู้จัดทำ

1. **นางสาวอัจฉรา บัวหยาด** **45010956**
2. **นายเอกชัย ตรีสิทธิ์** **45010981**
3. **นายเอกรินทร์ ปัทมขจร** **45010989**

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.พิพัฒน์ พรหมมี)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ศรวัฒน์ ชิวปรีชา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจหาจุดชำรุดของสายทองแดง
TIME DOMAIN REFLECTROMETER

โดย นางสาวอัจฉรา บัวหยาด 45010956
นายเอกชัย ตรีสิทธิ์ 45010981
นายเอกรินทร์ ปัทมขจร 45010989

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พิพัฒน์ พรหมมี
อาจารย์ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบการสร้าง Time Domain Reflectrometer (TDR) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจหาจุดชำรุดของสายทองแดง โดยอาศัยหลักการของการสะท้อนกลับของสัญญาณพัลส์ที่ถูกส่งเข้าไปในสายส่ง เมื่อพบจุดที่ชำรุดสัญญาณพัลส์ที่ถูกส่งเข้าไปก็จะสะท้อนกลับมา โดยลักษณะของสัญญาณที่ถูกส่งกลับมาจะเป็นตัวบอกลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้น และระยะเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางไปกลับ จะเป็นตัวบอกระยะที่ชำรุด โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 และแสดงผลทางหน้าจอ LCD

ABSTRACT

This project presents the Time Domain Reflectrometer (TDR) which measure the transmission line faulty according to cause and length. The TDR principle uses the theory of wave reflection by pulse signal transmitted into transmission line. The reflected signal is returned according to the cause of cable damage. The propagation delay of reflected signal indicates the distance. The Microcontroller MCS – 51 is used to implement and the results are shown by LCD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 ขั้นตอนในการทำโครงงาน 1

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 3

2.1 ชนิดของสายส่ง 3

2.2 พารามิเตอร์กระจายของสายส่ง (Distributed Parameter) 4

2.3 อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่ง (Characteristic impedance) 11

2.4 ค่าคงตัวของการแพร่ (Propagation Constants) ของสายส่ง 13

2.5 ความยาวและความเร็วของคลื่นจรบนสายส่ง 14

2.6 ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามสายส่ง 15

2.7 ค่าคงตัวการลดทอน 18

2.8 การต่อโหลดเข้ากับสายนำสัญญาณ 19

2.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient) และ อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) 20

2.10 ความรู้เบื้องต้นสำหรับ TDR (Time Domain Reflectrometer) 22

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง 27

3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 27

3.2 วงจรเลือกสัญญาณ 28

3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ 29

3.4 วงจรรวมสัญญาณ 30

3.5 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ 31

3.6 วงจรคูณสัญญาณ 33

3.7 วงจรนับ 34

3.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 35

3.9 วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์ 45

3.10 จอแสดงผล 47

3.11 ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.12 ดาต้าล็อกเกอร์ 50
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 53
4.1 การออกแบบวงจร 53
4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 53
4.1.2 วงจรเลือกสัญญาณ 56
4.1.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ 59
4.1.4 วงจรรวมสัญญาณ 61
4.1.5 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ 62
4.1.6 วงจรคูณสัญญาณ 64
4.1.7 วงจรนับ 66
4.1.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 66
4.1.9 คีย์แพดและจอแสดงผล 76
4.2 ผลการทดลองและค่าความผิดพลาด 80
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป 87
5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 87
5.2 วงจรเลือกสัญญาณ 87
5.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ 87
5.4 วงจรรวมสัญญาณ 88
5.5 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ 88
5.6 วงจรคูณสัญญาณ 88
5.7 วงจรนับ 88
5.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 88
บรรณานุกรม 89
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงชนิดต่าง ๆ ของสาย	4
รูปที่ 2.2	วงจรเสมือนของสายส่ง	5
รูปที่ 2.3	สายส่งเส้นคู่	7
รูปที่ 2.4	สายโคแอกเชียล	8
รูปที่ 2.5	สายส่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่ไม่เท่ากัน	9
รูปที่ 2.6	สายส่งแบบโคแอกเชียลที่มีตัวนำ 2 ตัว	9
รูปที่ 2.7	สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 1	10
รูปที่ 2.8	สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 2	10
รูปที่ 2.9	แทนวงจรเสมือนของสายส่งยาว Δx ด้วยวงจรสมมาตรแบบ T	11
รูปที่ 2.10	การส่งสายสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปให้โหลดผ่านสายส่ง	13
รูปที่ 2.11	การลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายส่ง	13
รูปที่ 2.12	แสดงกรณีไม่แมทช์กับสายนำสัญญาณ	19
รูปที่ 2.13	การเคลื่อนที่ของสัญญาณพัลล์ในสายดี	23
รูปที่ 2.14	การเคลื่อนที่ของสัญญาณพัลล์ในสายเสีย	23
รูปที่ 2.15	รูปสัญญาณพัลส์ที่ส่งเข้าไปในสาย	24
รูปที่ 2.16	รูปร่างของสัญญาณสะท้อนกลับ	25
รูปที่ 2.17	ขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับ	26
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	27
รูปที่ 3.2	บล็อกไดอะแกรมของวงจรเลือกสัญญาณ	28
รูปที่ 3.3	บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับสัญญาณ	29
รูปที่ 3.4	สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณ	30
รูปที่ 3.5	บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมสัญญาณ	30
รูปที่ 3.6	สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ	31
รูปที่ 3.7	บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	31
รูปที่ 3.8	รูปสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับเวลา และวงจรตรวจสอบสถานะ	32
รูปที่ 3.9	บล็อกไดอะแกรมของวงจรคูณสัญญาณ	33
รูปที่ 3.10	สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรคูณสัญญาณ	33
รูปที่ 3.11	บล็อกไดอะแกรมของวงจรนับ	34
รูปที่ 3.12	การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13 ไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆบนระบบบัส I^2C 40
รูปที่ 3.14 รูปแบบข้อมูลในการอ้างแอดเดรส 40
รูปที่ 3.15 รูปแบบข้อมูลในการเข้าถึงแบบ 7 บิต 41
รูปที่ 3.16 รูปแบบข้อมูลในการเข้าถึงแบบ 10 บิต 41
รูปที่ 3.17 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 42
รูปที่ 3.18 รายละเอียดเบื้องต้นของไอซีแปลงสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ 44
รูปที่ 3.19 วงจรเชื่อมต่อ MAX 232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ 45
รูปที่ 3.20 วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด 45
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการเชื่อมต่อสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4 x 3 จุดกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 46
รูปที่ 3.22 แสดงการจัดขาของโมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด 47
รูปที่ 3.23 แสดงหน่วยความจำภายใน DS1307 49
รูปที่ 3.24 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS1307 ในโหมดการเขียนข้อมูล 50
รูปที่ 3.25 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS1307 ในโหมดการอ่านข้อมูล 50
รูปที่ 3.26 บล็อกไดอะแกรมรวมของวงจร 52
รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz 53
รูปที่ 4.2 สัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz 54
รูปที่ 4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 54
รูปที่ 4.4 สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (60 nsec) 55
รูปที่ 4.5 สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (340 nsec) 55
รูปที่ 4.6 สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (830 nsec) 56
รูปที่ 4.7 วงจรเลือกสัญญาณ 56
รูปที่ 4.8 สัญญาณจากวงจรเลือกสัญญาณเมื่อ A=0 , B=0 57
รูปที่ 4.9 สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปและสะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบเปิด 58
รูปที่ 4.10 สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปและสะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบลัดวงจร 58
รูปที่ 4.11 วงจรตรวจจับสัญญาณ 59
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต เมื่อทำการเปิดปลายสาย 60
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต เมื่อทำการลัดวงจรที่ปลายสาย 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 วงจรรวมสัญญาณ 61

รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต เมื่อทำการเปิดปลายสาย 61

รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต เมื่อทำการลัดวงจรที่ปลายสาย 62

รูปที่ 4.17 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ 63

รูปที่ 4.18 สัญญาณที่ได้จากวงจร D– Flip Flop 1 หรือวงจรตรวจจับเวลา 63

รูปที่ 4.19 สัญญาณที่ได้จากวงจร D – Flip Flop 2 หรือ วงจรตรวจสอบสถานะว่าสายเปิดหรือลัดวงจร 64

รูปที่ 4.20 วงจรคูณสัญญาณ และวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 25 MHz 64

รูปที่ 4.21 สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ความถี่ 25 MHz 65

รูปที่ 4.22 สัญญาณจากวงจรคูณสัญญาณเทียบกับสัญญาณจาก D – Flip Flop 1 65

รูปที่ 4.23 วงจรนับ 66

รูปที่ 4.24 (ก) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี 68

รูปที่ 4.24 (ข) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี (ต่อ) 69

รูปที่ 4.24 (ค) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี (ต่อ) 70

รูปที่ 4.24 (ง) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี (ต่อ) 71

รูปที่ 4.24 (จ) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี (ต่อ) 72

รูปที่ 4.24 (ฉ) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี(ต่อ) 73

รูปที่ 4.25 (ก) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมเดลไฟล์ 74

รูปที่ 4.25 (ข) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมเดลไฟล์ (ต่อ) 75

รูปที่ 4.26 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเมื่อเครื่องทำงาน 76

รูปที่ 4.27 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลซึ่งแสดงเมนูใช้งานต่าง ๆ 76

รูปที่ 4.28 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้เลือกความกว้างของสัญญาณพัลส์ 77

รูปที่ 4.29 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อบอกให้ผู้ใช้ใส่ค่า Velocity Factor ของสาย 77

รูปที่ 4.30 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อบอกลักษณะและระยะที่เกิดการชำรุด 78

รูปที่ 4.31 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้เลือกว่าต้องการบันทึกผลการวัดหรือไม่ 78

รูปที่ 4.32 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อบอกวัน-เวลา 78

รูปที่ 4.33 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อให้ตั้งวัน-เวลา 79

รูปที่ 4.34 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเมื่อเลือกเมนูดาต้าล็อกเกอร์ 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.35 ลักษณะการใช้งานเมื่อเปิดโปรแกรมทำการบันทึกค่าจากเครื่อง TDR 81

รูปที่ 4.36 ลักษณะการใช้งานเมื่อทำการตั้งค่าคอมพอร์ต 82

รูปที่ 4.37 ลักษณะการใช้งานเมื่อทำการอ่านค่าที่บันทึกไว้จากเครื่อง TDR และทำการนำข้อมูลที่ได้ใส่ในตาราง 82

รูปที่ 4.38 ลักษณะการใช้งานเมื่อเปิดข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมด 83

รูปที่ 4.39 เครื่อง TDR 84

รูปที่ 4.40 วงจรรวม 85

รูปที่ 4.41 วงจรรวม (ต่อ) 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายส่ง 6

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่ใช้ในปัจจุบัน 35

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า R กับ Pulse Width ทั้ง 3 ย่าน ในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 55

ตารางที่ 4.2 Truth Table ของ IC #74HC151 57

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจากเครื่องวัด 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในการหาระยะจุดเสียของสายส่ง ณ ตำแหน่งใดๆ ในอดีต จะต้องใช้เครื่องมือวัดที่อาศัยหลักการลูป (Loop) และบริดจ์ (Bridge) แล้วเทียบความยาวจากค่าความต้านทานที่วัดได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดยังอยู่ในระดับที่สูง ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Time Domain Reflectrometer (TDR) มาช่วยในการวัดซึ่งให้ค่าความถูกต้องแม่นยำมาก เครื่องมือชนิดนี้อาศัยหลักการการสะท้อนของสัญญาณที่ส่งเข้าไปในสาย โดยเมื่อพบจุดที่สายชำรุดสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะสามารถนำไปประมวลผล ทำให้ทราบระยะที่ชำรุดของสายได้

1.2 วัตถุประสงค์

โครงงานนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อต้องการที่จะพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการหาจุดเสียของสายส่งโดยใช้อุปกรณ์พื้นฐาน นำมาประยุกต์เพื่อทำให้มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยเราสามารถตัดฟังก์ชันบางอย่างที่ไม่จำเป็นออกไปได้ และสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องจริงที่มีราคาค่อนข้างสูง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ในโครงงานนี้เป็นการพัฒนาโครงงานเดิมให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น มีความถูกต้องแม่นยำ มีฟังก์ชันการทำงานเพิ่มขึ้น คือ สามารถบันทึกผลการวัดและสามารถดูผลการบันทึกนั้นผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ รวมถึงการทำให้มีขนาดกะทัดรัดลงด้วย

1.4 ขั้นตอนในการทำโครงงาน

1. ศึกษาการเกิดคลื่นสะท้อนในสายเคเบิล
2. ศึกษาธรรมชาติของสัญญาณพัลส์เมื่อส่งเข้าไปในสายเคเบิล
3. ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล MCS-51 และการเขียนโปรแกรมภาษาซี
4. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับดาต้าล็อกเกอร์ (Data Logger) การส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม
5. สร้างบล็อกไดอะแกรมของโครงงานทั้งหมดอย่างละเอียด
6. ออกแบบวงจรให้ได้ตามเป้าหมายของแต่ละบล็อก
7. นำแต่ละส่วนที่ออกแบบไว้มาสร้างเป็นวงจรและทดสอบการทำงาน
8. นำวงจรทั้งหมดมาต่อร่วมกัน และทดสอบการทำงานร่วมกัน
9. นำผลการทดลองมาประเมินพร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้น
10. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงงานนี้สามารถนำไปใช้ในงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับเครื่องต้นแบบ และใช้ต้นทุนในการสร้างต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ชนิดของสายส่ง

รูปแบบพื้นฐานของสายส่งมีดังนี้

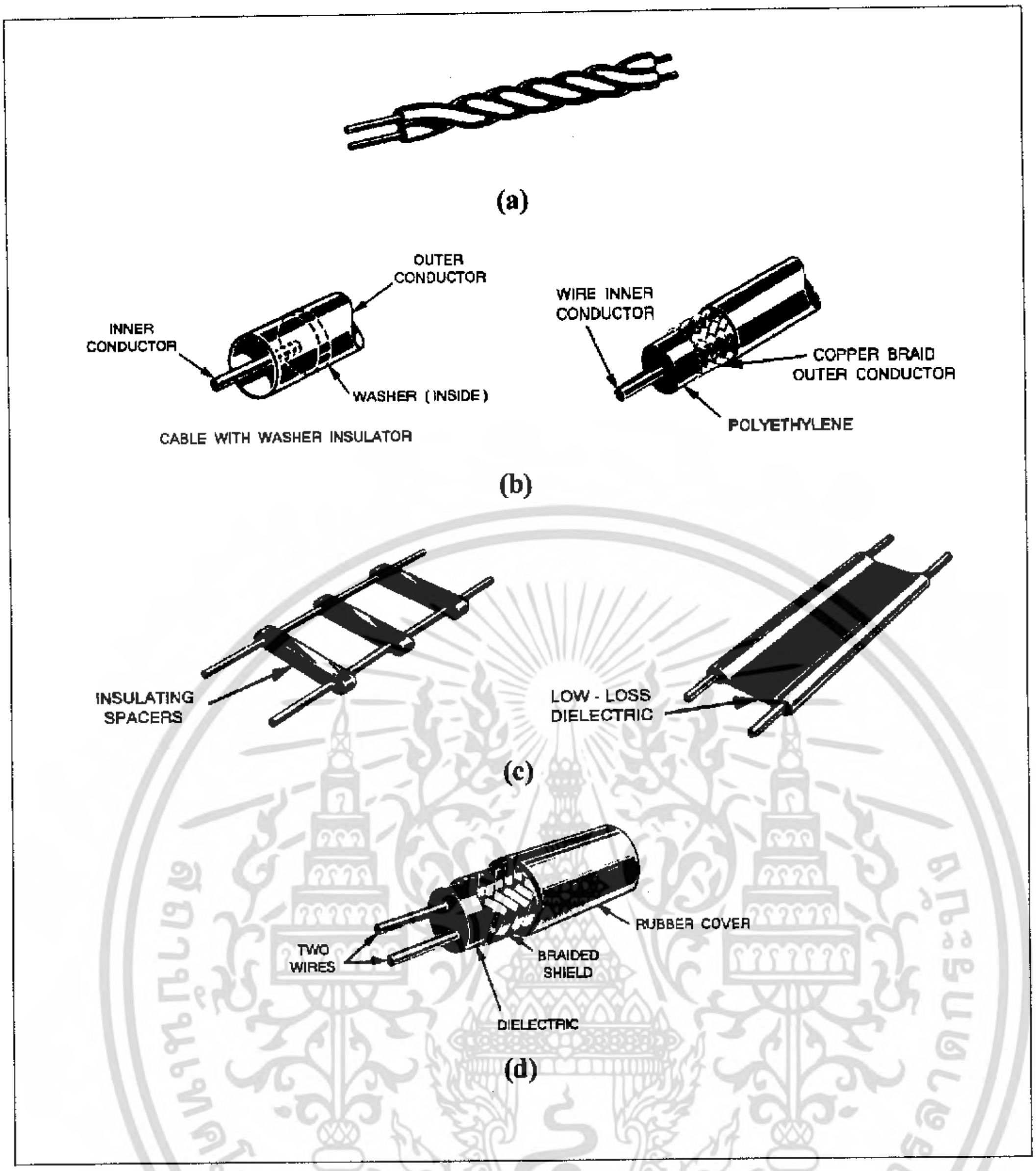
2.1.1 สายคู่แบบบิด (Two Line Twisted or Twisted Pair) จะเป็นสายที่นิยมใช้มากในการส่งถ่ายพลังงานหรือสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลด โดยที่สายแบบนี้จะไม่ใช้ส่งสัญญาณที่มีความถี่สูง เพราะจะเกิดความสูญเสียมาก (losses) อันเนื่องมาจากฉนวนที่หุ้มไว้ และเมื่อสายมีความชื้นเพิ่มขึ้นก็ยิ่งจะทำให้เกิดความสูญเสียมากขึ้นด้วย ซึ่งมีทั้งแบบ ไม่มีชิลด์และชนิดอิมพีแดนซ์ต่ำ

2.1.2 สายโคแอกเชียล (Coaxial) ประกอบด้วยลวดตัวนำภายใน ตรงแกนกลางและตัวนำภายนอกเป็นรูปทรงกระบอกมีฉนวนขั้นกลาง ส่วนใหญ่มักจะใช้กับเครื่องส่งในย่านความถี่ VHF , UHF ข้อดีของสายโคแอกเชียล คือ ความสูญเสียของการกระจายพลังงานน้อย ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีอยู่ภายในช่วงระหว่างตัวนำเท่านั้น แต่ก็มีข้อเสียตรงที่โค้งงอลำบาก ดังนั้นจึงมีการสร้างสายโคแอกเชียลชนิดที่อ่อนตัวง่ายอีกแบบ โดยตัวนำเส้นในจะใช้เป็นเส้นฝอยเส้นเล็ก ๆ รวมกันแทนที่จะเป็นสายเส้นแข็งเส้นเดียว และหุ้มด้วยพลาสติกโปลี่เอททไทลิน (Polyethylene) ซึ่งพลาสติกอันนี้จะทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กตริก (Dielectric) และกั้นอยู่ระหว่างตัวนำด้านในกับด้านนอก และตัวนำด้านนอกประกอบด้วย สายถักเส้นเล็ก ๆ ถักรอบไดอิเล็กทริค แล้วหุ้มด้วยพลาสติกโปลี่วินิล (Polyvinyl)

2.1.3 สายคู่ขนาน (Parallel Spaced or Open – Wire Line) ประกอบด้วยตัวนำสองอันวางขนานกันห่างด้วยระยะทางเท่ากันโดยตลอด โดยใช้ฉนวนวางขั้นเป็นช่วง ๆ เท่ากันตลอด เรียกว่า Bar Insulated สายที่หุ้มฉนวนตลอดแนวขนาดของตัวนำทั้งสองซึ่งเรียกว่า Twin Lead หรือ สายริปบอน (Ribbon) โดยที่สายชนิดนี้สามารถนำไปใช้เป็นสายอากาศโทรทัศน์ได้ด้วย

2.1.4 สายคู่ชิลด์ (Two Wire Space and Shielded) ประกอบด้วยตัวนำสองตัวแยกออกจากกัน และจะถูกหุ้มด้วยทองแดงเป็นชิลด์ ข้อดี คือ ตัวนำทั้งสองจะสมดุลเมื่อเทียบกับกราวด์ค่าตัวเก็บประจุระหว่างตัวนำแต่ละตัว โดยมีฉนวนกั้นสม่ำเสมอตลอดความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงชนิดต่าง ๆ ของสาย

(a) สายคู่แบบบิด

(b) สายโคแอกเชียล

(c) สายคู่ขนาน

(d) สายคู่ชีลด์

2.2 พารามิเตอร์กระจายของสายส่ง (Distributed Parameter)

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของสายส่งชนิดเบื้องต้น จะประกอบด้วยสายตรงสองเส้นขนานกัน ด้วยขนาดและระยะคงที่ แยกจากกันด้วยอากาศหรือ ฉนวน เราเรียกว่า สายขนาน (Parallel wire) ตัวสายทำมาจากวัสดุตัวนำ เช่น ทองแดง หรือ อลูมิเนียม ซึ่งโดยคุณสมบัติแล้วจะมีความต้านทานในตัว และเนื่องจากสายมีขนาดคงที่ ฉะนั้นความต้านทานก็จะมีค่าคงที่ตลอดต่อหน่วยความยาว

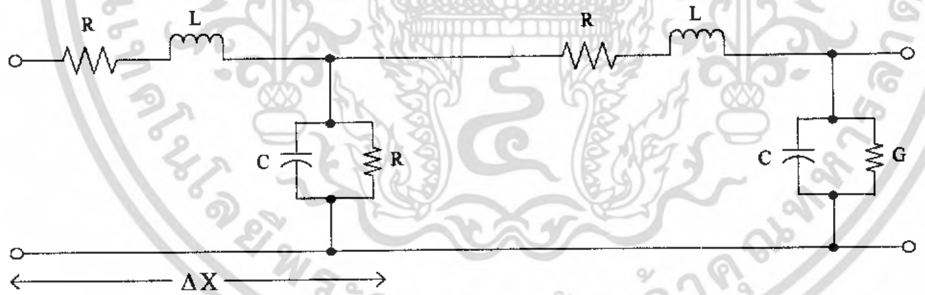
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่วิทยุพลังงานบางส่วนจะถูกแพร่กระจายจากสายส่งในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอันเป็นพลังงานที่สูญเปล่า หรือเท่ากับว่าความต้านทานของสายมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานของการแพร่กระจาย (Radiation Resistance) ความต้านทานอันนี้หาได้จากค่าของกำลังการแพร่กระจายหารด้วยขนาดของกระแสในสายยกกำลังสอง อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายจากสายคู่ขนานจะไม่เกิดขึ้นหากว่าช่วงห่างระหว่างสายทั้งสองน้อยกว่า 1/10 ของความยาวคลื่นมาก และในที่นี้เราถือว่าไม่มีการแพร่กระจายจากสายส่ง ดังนั้นความต้านทานของการแพร่กระจายก็ตัดทิ้งได้

เมื่อมีกระแสไหลผ่านสายทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งสนามแม่เหล็กนี้จะเชื่อมความเหนี่ยวนำด้วยรูปแบบคงที่ตลอดสาย ผลจากการเหนี่ยวนำของเส้นแรงแม่เหล็ก ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำการไหลของกระแสเท่ากับมีอินดัคแตนซ์ (Inductance) ต่ออนุกรมกับความต้านทานในสาย

สาเหตุที่กระแสอินพุตกับกระแสเอาต์พุตของสายแตกต่างกัน เนื่องจากมีค่าแอดมิทแตนซ์ (Admittance) อยู่ระหว่างคู่สายซึ่งเราอาจจะมองไม่ชัดนัก ถึงค่าแอดมิทแตนซ์ที่ต่อคร่อมระหว่างสายทั้งสอง ค่าแอดมิทแตนซ์ประกอบด้วยอุปกรณ์สองอย่าง อย่างแรก คือ ค่าความจุ (Capacitance) ซึ่งเกิดขึ้นเพราะสายทั้งสองวางขนานใกล้กันอยู่ระหว่างไดอิเล็กทริค (Dielectric) ส่วนอย่างที่สอง เนื่องจากระหว่างสายทั้งสอง ซึ่งมีไดอิเล็กทริคกั้นอยู่นั้น ไม่ได้เป็นฉนวนที่สมบูรณ์ จึงมีการรั่วไหลของ กระแสระหว่างสายทั้งสองได้ จึงเท่ากับมีตัวนำต่อคร่อมระหว่างสาย

ฉะนั้นเราจึงสามารถเขียนวงจรเสมือนของสายส่ง ที่สายสั้นที่สุดความยาวเท่ากับ ΔX ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นรูปแบบที่คงที่เหมือนกันตลอดความยาวของสาย และค่าของพารามิเตอร์แบบกระจายต่าง ๆ เหล่านี้ จะเป็นค่าหน่วยต่อความยาวของสาย เช่น หน่วยต่อความยาว 1 ไมล์ หรือ 1 เมตร เป็นต้น



รูปที่ 2.2 วงจรเสมือนของสายส่ง

พารามิเตอร์แบบกระจาย มีอยู่ 4 ตัวดังนี้

R : คือ ค่าความต้านทานต่อหน่วยความยาวของสาย ซึ่งเท่ากับผลรวมความต้านทานทั้งสองเส้นต่อหน่วยความยาว ohm/m (Ω/m)

L : คือ ค่าอินดัคแตนซ์ต่อหน่วยความยาวของสาย ซึ่งเท่ากับผลรวมอินดัคแตนซ์ทั้งสองเส้นต่อหน่วยความยาว (H/m)

G : คือ ค่าคอนดัคแตนซ์ ระหว่างสายต่อหน่วยความยาว (mho/m)

C : คือ ค่าความจุระหว่างสายต่อหน่วยความยาว (F/m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่า G และค่า C เป็นค่าที่เกิดขึ้นระหว่างสายทั้งสอง จึงไม่ได้เป็นผลรวมของทั้งสองเส้นเหมือนค่า R และ L

ถ้าหากเรากำหนดให้ Z เป็นค่าอิมพีแดนซ์รวมต่อหน่วยความยาวของสาย และ Y เป็นค่าแอดมิทแตนซ์ต่อหน่วยความยาวของสาย จะได้ว่า

$$Z = R + j\omega L \tag{2.1}$$

$$Y = G + j\omega C \tag{2.2}$$

โดย Z มีหน่วยเป็น โอห์ม/เมตร (ohm/m), Y มีหน่วยเป็นโมห์/เมตร (mho/m) หรือซีเมนต์/เมตร (S/m) ซึ่งโดยที่ $Z \neq \frac{1}{Y}$.

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อหน่วยความยาวของสายส่งได้แก่ R, L, G และ C นั้นขึ้นอยู่กับสายส่งแต่ละชนิดไม่ใช่เฉพาะสายคู่ขนานเท่านั้น แต่ค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในสายแต่ละชนิดอาจแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ ซึ่งโดยปกติบริษัทผู้ผลิต จะบอกถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาให้ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.1

			Loop constant/mile			
Type	Gauge miles	Spacing inch	R (ohms)	L (mH)	C (μF)	G(μohm)
Open wire	104	12	10.15	3.66	0.00837	0.29
Open wire	104	18	10.15	3.93	0.00797	0.29
Open wire	165	12	4.11	3.37	0.00915	0.29
Open wire	165	18	4.11	3.64	0.00863	0.29
Paper insulate	19*		85.8	1	0.062	1.5
Cable pair	16*		42.1	1	0.062	1.5

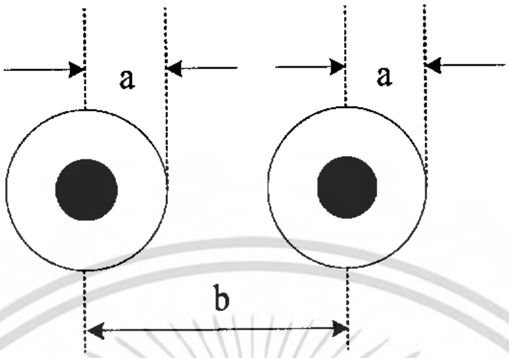
*AWG

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าเราทราบคุณสมบัติของวัสดุและลักษณะโครงสร้างของสายก็สามารถหาค่าพารามิเตอร์ได้โดยอาศัยสมการจากทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ดังนี้

สายส่งเส้นคู่



รูปที่ 2.3 สายส่งเส้นคู่

$$C = \frac{\pi \varepsilon_d}{\cosh^{-1}(b/2a)}$$

$$= \frac{\pi \varepsilon_d}{\ln(b/a)} \quad \text{ถ้า } a^2/b^2 << 1 \tag{2.3}$$

$$L = \frac{\mu_d}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{b}{2a}\right)$$

$$= \frac{\mu_d}{\pi} \ln\left(\frac{b}{2a}\right) \quad \text{ถ้า } a^2/b^2 << 1 \tag{2.4}$$

$$G = \frac{\pi \sigma_d}{\cosh^{-1}(b/2a)}$$

$$= \frac{\pi \sigma_d}{\ln(b/a)} \quad \text{ถ้า } a^2/b^2 << 1 \tag{2.5}$$

$$R = \frac{1}{\pi a}\sqrt{\frac{\omega \mu_c}{2\sigma_c}} \tag{2.6}$$

เมื่อ

ε_d คือ สภาพยอมได้ (Permittivity) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

μ_d คือ สภาพให้ซึมได้ (Permeability) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

σ_d คือ สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

σ_c คือ สภาพนำไฟฟ้าของตัวนำที่ใช้สายส่ง

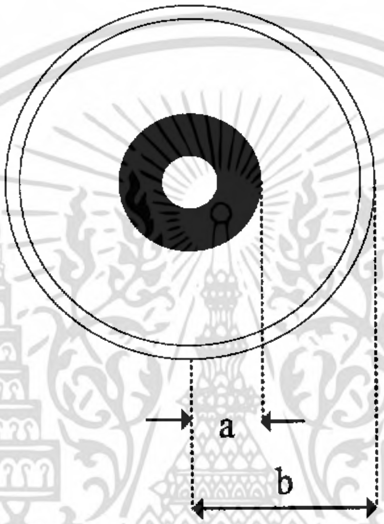
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากตัวนำที่ใช้นำสายส่งไม่ใช่ตัวนำสมบูรณ์ (Perfect conductor) ผลของปรากฏการณ์ทางผิว (Skin Effect) จะเพิ่มค่า L อีก

$$L_i = \frac{1}{\pi a}\sqrt{\frac{\mu_c}{2\omega\sigma_c}} \quad (2.7)$$

เมื่อ μ_c คือ สภาพให้ซึมได้ของตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง

สายส่งโคแอกเชียล



รูปที่ 2.4 สายโคแอกเชียล

$$C = \frac{2\pi\ \varepsilon_d}{\ln(b/a)} \quad (2.8)$$

$$L = \frac{\mu_d}{\pi}\ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.9)$$

$$G = \frac{2\pi\ \sigma_d}{\ln(b/a)} \quad (2.10)$$

$$R = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\omega\mu_c}{2\sigma_c}}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right) \quad (2.11)$$

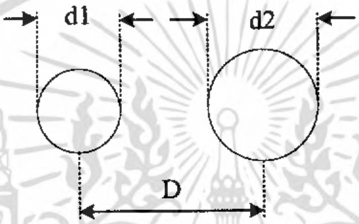
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าคงตัวที่มีดรรชนีล่างเป็น d จะเป็นค่าคงตัวของสารไดอิเล็กทริกที่คั่นตัวนำ และค่าคงตัวที่มีดรรชนีล่างเป็น C จะเป็นค่าคงตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง และผลของปรากฏการณ์ทางผิวจะทำให้ L มีค่าเพิ่มขึ้นอีก

$$L_i = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu_c}{2\omega\sigma_c}}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right) \tag{2.12}$$

สายส่งในรูปแบบอื่น ๆ

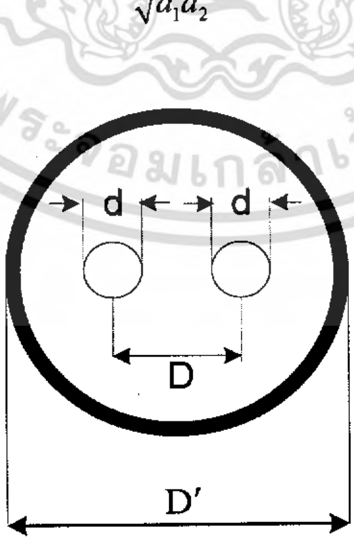
สายส่งในรูปแบบอื่น ๆ ที่แสดงสูตรการคำนวณข้างล่างนี้ได้สมมติว่าสารไดอิเล็กทริกที่อยู่รอบ ๆ เป็นอากาศที่ไม่มีความสูญเสีย ค่าที่คำนวณได้ของ C มีหน่วยเป็น pF/m และ L มีหน่วยเป็น μH/m



รูปที่ 2.5 สายส่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่ไม่เท่ากัน

$$C = \frac{27.5}{\ln\frac{2D}{\sqrt{d_1 d_2}}} \tag{2.13}$$

$$L = 0.4\ln\frac{2D}{\sqrt{d_1 d_2}} \tag{2.14}$$

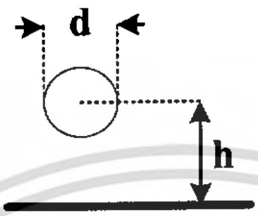


รูปที่ 2.6 สายส่งแบบโคแอกเชียลที่มีตัวนำ 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{27.5}{\ln\left(\frac{2D}{d}\frac{D'^2 - D^2}{D'^2 + D^2}\right)} \tag{2.15}$$

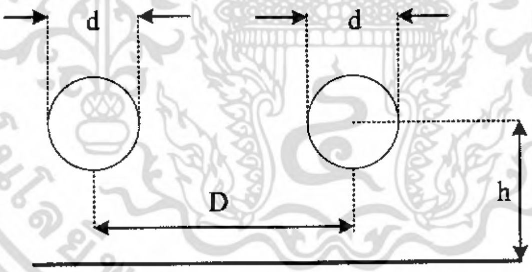
$$L = 0.4\ln\left(\frac{2D}{d}\frac{D'^2 - D^2}{D'^2 + D^2}\right) \tag{2.16}$$



รูปที่ 2.7 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 1

$$C = \frac{55}{\ln\frac{4h}{d}} \tag{2.17}$$

$$L = 0.2\ln\frac{4h}{d} \tag{2.18}$$



รูปที่ 2.8 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 2

$$C = \frac{27.5}{\ln\left(\frac{2D}{d\sqrt{1+\left(\frac{D}{2h}\right)^2}}\right)} \tag{2.19}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = 0.4\ln\frac{2D}{d\sqrt{1+\left(\frac{D}{2h}\right)^2}} \qquad (2.20)$$

2.3 อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่ง (Characteristic impedance)

พลังงานของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่สายส่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งพลังงานจะถูกถ่ายทอดสู่โหลดเต็มที่ต่อเมื่ออิมพีแดนซ์ของโหลดแมทซ์กับสาย และหากไม่แมทซ์จะเกิดการสะท้อนกลับของพลังงานบางส่วนในรูปของคลื่นสะท้อน (Reflected Wave)

หากพิจารณาจากสายส่งสมมติที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด (Infinite Line) เมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุตสัญญาณจะไม่มีโอกาสถึงปลายทางเอาท์พุตเลย จึงไม่มีการสะท้อนกลับ ฉะนั้นอัตราส่วนของแรงดัน ต่อกระแส ณ จุดใดๆ ของสายจะมีค่าคงที่ คือ ไม่เกี่ยวกับระยะตำแหน่ง เราเรียกอัตราส่วนนี้ว่า Z_0 (Characteristic Impedance)

สำหรับสายที่มีความยาวจำกัด (Finite Line) ถ้าต่อโหลด Z_L ให้มีค่าเท่ากับ Z_C จะปรากฏเหมือนกับสายที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด คือ ไม่มีการสะท้อนกลับเพราะพลังงานถูกถ่ายทอดสู่โหลดเต็มที่

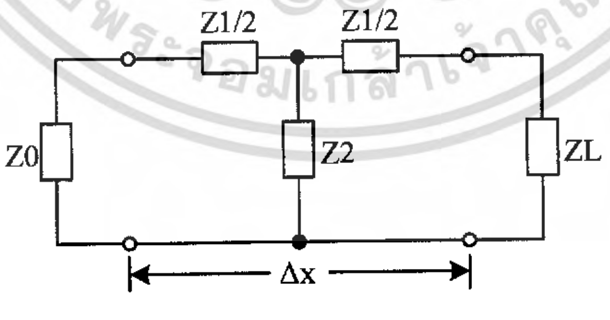
จึงกล่าวได้ว่า อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อกระแส ณ จุดใด ๆ ของสายส่งที่ไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณ

จากวงจรเสมือน (Equivalent) ของสายที่มีความยาว Δx ค่าของอินดัคแตนซ์รวม คือ $L\Delta x$ ค่าความต้านทางรวม คือ $R\Delta x$ ค่าคอนดัคแตนซ์ คือ $G\Delta x$ และค่าความจุ คือ $C\Delta x$ ดังนั้นจากสมการที่ 2.1 และ 2.2 จะได้ว่า

$$Z\Delta x = (R + j\omega L)\Delta x \qquad (2.21)$$

$$Y\Delta x = (G + j\omega C)\Delta x \qquad (2.22)$$

เพื่อให้สะดวกขึ้นเราจึงจัดให้อยู่ในรูปของวงจรสมมาตรแบบ T ดังในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แทนวงจรเสมือนของสายส่งยาว Δx ด้วยวงจรสมมาตรแบบ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_1 = Z\Delta x \tag{2.23}$$

$$Z_2 = \frac{1}{Y\Delta x} \tag{2.24}$$

เมื่อพิจารณาจากคำจำกัดความถ้าเราให้ Z_0 เป็น Input impedance ของสายและ $Z_L = Z_0$, หาก $\Delta x \rightarrow 0$, Z_0 นี้ก็คือ Characteristic Impedance นั่นเอง

$$Z_0 = \sqrt{Z_1 Z_2 + \frac{Z_1^2}{4}} \tag{2.25}$$

แทนค่าสมการที่ 2.23 และสมการที่ 2.24 ลงในสมการที่ 2.25 จะได้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \tag{2.26}$$

แทนค่าสมการที่ 2.21 และสมการที่ 2.22 ลงในสมการที่ 2.26 จะได้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \tag{2.27}$$

ที่ความถี่ต่ำซึ่ง $R >> \omega L$ และ $G >> \omega C$ เราจะได้ว่า

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{G}} \tag{2.28}$$

และที่ความถี่สูงหรือในกรณีสายส่งไม่มีการสูญเสียเลย (Lossless Line) จะทำให้ $R << \omega L$ และ $G << \omega C$ เราจะได้ว่า

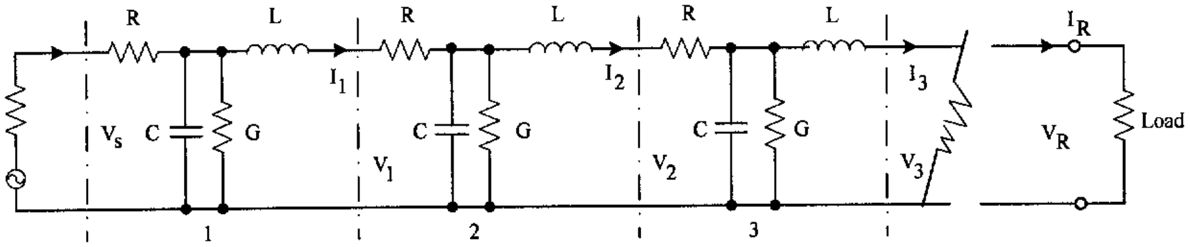
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{2.29}$$

จะเห็นได้ว่าสองกรณีหลังนี้เป็นค่าจริงไม่มีค่า j จึงไม่ต้องเกี่ยวกับความถี่ และเฉพาะในช่วงระหว่างกรณีนี้เท่านั้นที่ค่า Z_0 เป็นค่าจำนวนเชิงซ้อน (Complex) ขึ้นอยู่กับความถี่ด้วย

ในทางปฏิบัติเราใช้สมการที่ 2.29 หาค่า Z_0 สำหรับสายคู่ขนาน เมื่อความถี่ 20 kHz ขึ้นไป ส่วนสายโคแอกเชียล เมื่อความถี่ 200 kHz ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ค่าคงตัวของการแพร่ (Propagation Constants) ของสายส่ง



รูปที่ 2.10 การส่งสายสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปให้โหลดผ่านสายส่ง

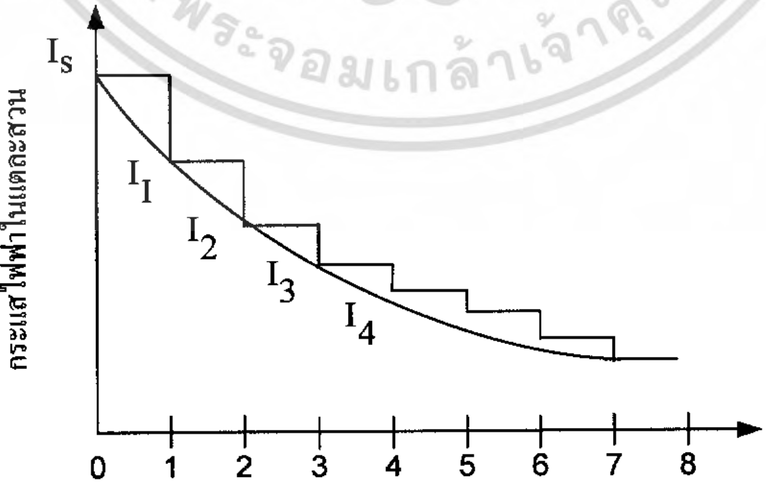
จากรูปที่ 2.10 แสดงวงจรเทียบเท่าของการส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลด ซึ่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z_0 ผ่านสายรับส่ง ซึ่งแบ่งเป็นส่วน ๆ จำนวนหนึ่ง ความต้านทานที่ต่ออนุกรม (Series Impedance) เท่ากับ $R + j\omega L$ และ ความนำไฟฟ้าที่ต่อขนาน (Shunt Admittance) เท่ากับ $G + j\omega C$ ในแต่ละส่วนของสายจะมีผลแสดงต่อกระแสไฟสัญญาณ (หรือแรงดัน) ที่ไหลผ่านมันไปดังนี้

1. กระแสไฟสัญญาณ (หรือแรงดัน) จะถูกลดทอนในแต่ละส่วนของสายรับส่งเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน กล่าวคือ กระแสไฟด้านส่ง ที่ไหลเข้าสายรับส่งส่วนที่ 1 จะถูกลดทอนด้วย Series Impedance และถูกลัดผ่าน Shunt Admittance เหลือกระแสไฟ I_1 ที่ไหลไปเข้าส่วนที่ 2 เป็นจำนวนน้อยลง โดยสมมติว่า $\frac{I_S}{I_1} = K$ ซึ่งในทำนองเดียวกัน

$$\frac{I_1}{I_2} = K$$

$$\frac{I_2}{I_3} = K \qquad \text{และต่อ ๆ ไป}$$

$$\frac{I_S}{I_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2}{I_3} = \ldots = K$$



รูปที่ 2.11 การลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 แสดงการลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายรับส่ง ในกรณีที่เราแทนแต่ละส่วนของสายรับส่งด้วย R, L, C และ G ที่เป็นกลุ่มก้อน (Lump) ดังในรูป การลดลงของกระแสไฟผ่านสายรับส่งจะเป็นขั้น ๆ โดยมี $\frac{I_S}{I_1}=\frac{I_1}{I_2}=\frac{I_2}{I_3}=\ldots=K$ ดังแสดงด้วยกราฟเส้นที่เป็นขั้นบันได

ในทางปฏิบัติ ค่า R, L, C และ G ของสายส่งจะไม่เป็นกลุ่มก้อนแต่จะกระจาย (Distribute) ไปทั่ว การลดลงของกระแสไฟจะเป็นขั้นละน้อยมาก ทำให้กราฟของกระแสไฟลดลงอย่างสม่ำเสมอดังแสดงด้วยเส้นโค้งดังรูป

2. กระแสไฟสัญญาณ จะถูกเลื่อนเฟสในแต่ละส่วนของสายรับส่งเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน เพราะคลื่นต้องการเวลาในการเดินทางจำนวนหนึ่งในการเดินทางผ่านไป คุณสมบัติซึ่งสายรับส่งมีต่อสัญญาณที่ส่งผ่านมันในเรื่องการลดทอนกำลัง (Attenuation) และการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ในแต่ละส่วนของหนึ่งหน่วยความยาว เราเรียกว่า Propagation Constant ซึ่งแทนด้วย γ โดยที่ $\gamma=\ln\frac{I_1}{I_2}=\ln\frac{I_2}{I_3}$

เนื่องจาก I_1 น้อยกว่า I_S และ มีเฟสตามหลัง I_S ดังนั้น γ ซึ่งเท่ากับ $\ln\frac{I_s}{I_1}$ จะประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเป็นค่าตัวเลขจริงแสดงจำนวนของการลดทอนกำลัง และอีกส่วนหนึ่งเป็นค่าจินตภาพ (Imaginary) แสดงจำนวนการเลื่อนเฟสของสัญญาณระหว่าง I_S และ I_1 นั่นคือ $\gamma=\ln\frac{I_S}{I_1}$ แล้วจะได้

$$\gamma=\alpha+j\beta \tag{2.30}$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\gamma=\sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)} \tag{2.31}$$

- α เรียกว่า ค่าคงตัวของการลดทอน (Attenuation Constant) กำหนดไว้เป็น Neper หรือ dB ต่อหนึ่งหน่วยความยาว เช่น Naper/km เป็นต้น

- β เรียกว่า ค่าคงตัวของเฟส (Phase Constant) กำหนดไว้เป็นเรเดียนต่อหนึ่งหน่วยความยาว เช่น Radian/km เป็นต้น

2.5 ความยาวและความเร็วของคลื่นจรบนสายส่ง

เมื่อมองดูคลื่นจรไปตามสายส่งที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุด 2 จุดตามความยาวของคลื่นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงครบรอบหนึ่งรอบคลื่นพอดี หรือระยะทางที่เฟสของคลื่นเปลี่ยนไป 2π เรเดียน เราเรียกระยะทางนี้ว่าความยาวคลื่น (Wavelength) เมื่อ β เป็นค่าที่บอกการเปลี่ยนแปลงของเฟสในคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความยาว ถ้าเราให้ λ เป็นความยาวคลื่น ตามบทนิยามของความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta\lambda = 2\pi \quad \text{หรือ} \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{2.32}$$

เมื่อเวลาผ่านไป เราจะสังเกตเห็นคลื่นจรเคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่ง ด้วยความเร็ว (Velocity) ค่าหนึ่งซึ่งเราสามารถวัดได้โดยหาระยะทางที่เฟสที่คงที่เฟสหนึ่งของคลื่นเดินทางไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ถ้าพิจารณาคลื่นจรตกกระทบที่เวลา $t = t_1$ ที่จุด $x = x_1$ เฟสที่เวลาและจุดนี้ คือ $\omega t_1 - \beta x_1$ เมื่อเวลาผ่านไปเป็น t_2 เฟสเดิมนี้จะต้องย้ายไปอยู่จุดใหม่ให้จุดนี้เป็น x_2 ดังนั้นที่จุด x_2 ที่เวลา t_2 จะมีเฟสเป็น $\omega t_2 - \beta x_2$ ดังนั้น

$$\omega t_2 - \beta x_2 = \omega t_1 - \beta x_1 \tag{2.33}$$

เฟสคงที่นี้เคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง x_2 , x_1 ในเวลา t_2 , t_1 จะได้ความเร็ว

$$u = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\omega}{\beta} \tag{2.34}$$

ปกติแล้วมักจะใช้ v เป็นสัญลักษณ์แทนความเร็ว แต่เนื่องจากจะไปตรงกับสัญลักษณ์ของแรงดันจึงเลี่ยงมาใช้สัญลักษณ์ U แทน

เมื่อ ω และ β

$$u = \frac{2\pi f}{\beta} = \lambda f \tag{2.35}$$

ความเร็วที่หาได้นี้เป็นความเร็วของเฟสที่คงที่ของคลื่นจร เราเรียกความเร็วนี้ว่า ความเร็วเฟส (Phase Velocity) ถ้าเครื่องกำเนิดให้สัญญาณเชิงซ้อนซึ่งประกอบด้วยสัญญาณไซน์นูซอยด์หลาย ๆ ความถี่แล้วเรายังจะมองเห็นรูปแบบคลื่นรวมของสัญญาณเชิงซ้อนที่เคลื่อนไปด้วยความเร็วซึ่งแตกต่างจากความเร็วเฟสอีกด้วย ซึ่งเราเรียกว่า ความเร็วกลุ่ม (Group Velocity)

2.6 ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามสายส่ง

ความเร็วของคลื่นที่แพร่หรือเคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งจะเป็นค่าคงที่ ความถี่และค่าคงตัวของสัญญาณบนสายส่งจะมีความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับความเร็ว ดังนี้

$$u = \frac{\omega}{\beta} \tag{2.36}$$

ω ขึ้นอยู่กับสัญญาณที่ใช้ว่ามีความถี่เท่าไร ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องกำเนิดความถี่เป็นค่าคงที่กำหนดโดยผู้ใช้ แต่ค่าคงตัวเฟสเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับสายส่ง เกี่ยวข้องกับระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไปเมื่อเทียบกับเวลาที่สัญญาณเปลี่ยนไปหนึ่งรอบ นั่นคือ ความถี่ของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้การวิเคราะห์ในที่นี้ง่ายขึ้น ให้เริ่มด้วยสายส่งไร้ความสูญเสีย จากสมการค่าคงตัวการแพร่ในสมการที่ 2.30 และ 2.31 จะได้ว่า

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \tag{2.37}$$

ถ้าการใช้มีเงื่อนไขที่ทำให้ $R << \omega L$ และ $G << \omega C$ เราจะพบว่า

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \tag{2.38}$$

เมื่อแทนสมการที่ 2.38 ลงในสมการที่ 2.36 จะได้ว่า

$$u = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{2.39}$$

เมื่อแทนค่า L และ C ไม่ว่าสายส่งนั้น จะเป็นสายเส้นคู่หรือสายส่งโคแอกเชียลก็ตามจะได้ว่า

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_d \varepsilon_d}} \tag{2.40}$$

โดยที่ μ_d คือ สภาพให้ซึมได้ของสารที่อยู่รอบตัวนำที่ใช้ทำลายสายส่ง ใช้อธิบายสายส่งทางแม่เหล็ก และ ε_d คือ สภาพยอมได้ของสารที่อยู่รอบตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง ใช้อธิบายสมบัติทางไฟฟ้าจากสมการนี้พบว่าความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามสายส่งขึ้นกับสมบัติของสารที่อยู่รอบ ๆ ตัวนำที่ใช้ทำสายส่งไม่ขึ้นกับตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง เพราะว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น กระจายอยู่ภายนอกของตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง และคลื่นเคลื่อนที่ไปในสารที่อยู่รอบ ๆ โดยทิศทางการเคลื่อนที่ถูกนำ (Guide) ไปในทิศทางตามความยาวของตัวนำของสายส่ง

ปกติแล้วการบอกสภาพให้ซึมได้และสภาพยอมได้ของสารใด ๆ มักจะระบุได้ดีกว่าหรือเลวกว่าสุญญากาศเป็นกี่เท่า ดังนี้

$$\mu_d = \mu_r \mu_0 \tag{2.41}$$

$$\varepsilon_d = \varepsilon_r \varepsilon_0 \tag{2.42}$$

μ_r เรียกว่า สภาพให้ซึมได้สัมพัทธ์ (Relative permeability) ของสารใช้บอกว่าสารนี้มีสภาพ

ให้ซึม ได้เป็นกี่เท่าของสุญญากาศ สำหรับสุญญากาศ μ_r มีค่าเท่ากับ 1

μ_0 คือ สภาพให้ซึมได้ของสุญญากาศ มีค่า $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

ε_r เรียกว่า ค่าคงตัวไดอิเล็กทริคสัมพัทธ์ (Relative dielectric constant) ของสาร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับของสุญญากาศ

ε_0 คือ สภาพยอมได้ของสุญญากาศ มีค่า 8.854 pF/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น สารพอลีเอทิลีน มีค่า $\varepsilon_r = 2.2$ หมายความว่าสารนี้มีสภาพยอมได้ต่อสนามไฟฟ้าดีกว่าสุญญากาศ 2.2 เท่า ตามปกติแล้วสารไดอิเล็กทริคที่เป็นฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไปจะไม่เป็นสารแม่เหล็กและจะมีสภาพให้ซึมได้ของสารใกล้เคียงกับสุญญากาศ จึงมี $\mu_r = 1$

เมื่อแทน μ_d และ ε_d ลงในสมการที่ 2.40 จะได้ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามความยาวของสายส่ง ดังนี้

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r \mu_0 \varepsilon_0}} \tag{2.43}$$

ดังนั้นความเร็วของคลื่น ที่เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งซึ่งมีสุญญากาศอยู่รอบ ๆ ตัวนำที่ทำสายส่งจะมีค่า

$$u_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \tag{2.44}$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วของแสงหรือความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ

$$u_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{400\pi \times 10^{-9}\ 8.854 \times 10^{-12}}} \cong 3 \times 10^8 \quad \text{m/s}$$

ดังนั้นเขียนสมการ 2.44 ได้ใหม่ คือ

$$u = \frac{u_0}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}} \tag{2.45}$$

โดยทั่วไป ฉนวนไฟฟ้าเป็นสารไดอิเล็กทริคที่มีค่า $\mu_r \cong 1$ เราจึงสามารถหาความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามความยาวของสายส่ง โดยเฉพาะสายส่งเส้นคู่และสายส่งโคแอกเชียล ได้ดังนี้

$$u = \frac{u_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad \text{m/s} \tag{2.46}$$

ตัวประกอบความเร็ว (Velocity Factor: VF) บางครั้งอาจเรียกว่า อัตราส่วนความเร็ว (Velocity Ratio) ของสายส่ง คือ ค่าที่ใช้บอกว่าคลื่นบนสายส่งมีความเร็วเป็นกี่เท่าของความเร็วของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ ดังนี้

$$VF = \frac{u}{u_0} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}} \quad \text{m/s} \tag{2.47}$$

หรือ

$$VF = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2.48}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62541

เนื่องจากสารไดอิเล็กทริคโดยทั่วไปจะมีค่า ε_r มากกว่า 1 จึงทำให้ VF มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า สายส่งที่มีบริเวณโดยรอบของตัวนำที่ใช้ทำสายส่งเป็นสารไดอิเล็กทริค นอกเหนือจากเป็นสุญญากาศแล้ว ความเร็วของคลื่นที่ไปตามความยาวของสายส่งจะมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วของแสงในสุญญากาศ

2.7 ค่าคงตัวการลดทอน

ในความเป็นจริงแล้วจะไม่มีสายส่งที่ไม่เกิดความสูญเสีย เพียงแต่ว่าภายใต้เงื่อนไขบางกรณี สามารถพิจารณาสายส่งให้เสมือนว่าไม่มีความสูญเสียได้ เช่น กรณีความถี่สูงในย่านความถี่วิทยุ ฯลฯ ส่วนในย่านความถี่ต่ำ เช่น ความถี่ในย่านความถี่เสียงในสายโทรศัพท์ ความถี่ 50 Hz ในระบบไฟฟ้ากำลัง ฯลฯ จะไม่สามารถพิจารณาภายใต้เงื่อนไขนี้ได้ และจะต้องวิเคราะห์ตามสมการที่ไม่มีการสมมติ

การระบุว่าสายส่งไม่มีความสูญเสีย จะมีความหมายว่า ค่าคงตัวการลดทอน α มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่สายส่งในความเป็นจริงแล้ว ถึงแม้จะใกล้เคียงกับสายส่งที่ไม่มีความสูญเสีย แต่ค่าคงตัวการลดทอนก็ไม่ได้เป็นศูนย์ เพียงแต่อาจมีค่าต่ำมาก ถึงกระนั้นก็ตาม ถ้าสายส่งที่ใช้งานมีความยาวพอสมควรก็จะพบว่า การสมมติว่าการลดทอนเป็นศูนย์อาจผิดไปจากความเป็นจริงได้มาก ดังนั้นแม้การลดทอนมีค่าต่ำมากก็ยังคงต้องนำมาคำนวณด้วย ในกรณีที่สายส่งมีความยาวมาก ในขณะที่อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะและความเร็วคลื่นจรบนสายส่งที่หาได้จากการสมมติว่าเป็นสายส่งที่ไม่มีความสูญเสียยังคงใช้ได้อยู่

พลังงานในสัญญาณไฟฟ้าขณะที่เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งก่อนถึงโหลด อาจมีบางส่วนเปลี่ยนรูปพลังงานไปเป็นอย่างอื่น ในแง่ของสัญญาณไฟฟ้าที่เราต้องการนั้นถือว่าเกิดการสูญเสียไปในสายส่งอาจเป็นไปได้สามทาง คือ เกิดการแผ่พลังงาน (Radiation) ออกนอกสายส่ง เกิดความร้อนขึ้นในตัวนำ (Conductor heating) และเกิดความร้อนขึ้นในตัวสารไดอิเล็กทริค (Dielectric Heating)

การสูญเสียเนื่องจากเกิดการแผ่พลังงานตัวสายส่ง จะทำตัวเหมือนกับเป็นสายอากาศ (Antenna) จะมีพลังงานบางส่วนในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบตัวนำของสายส่งแผ่เคลื่อนวิ่งกระจายไกลออกไปในอากาศรอบ ๆ จึงดูเหมือนว่ามีพลังงานส่วนหนึ่งแผ่จากสายส่งออกไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสายส่งเส้นคู่จะมีการสูญเสียเนื่องจากการแผ่พลังงานมากกว่าสายส่งโคแอกเซียล การแผ่พลังงานจะยิ่งมาก ถ้าระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองที่ใช้ทำสายส่งยิ่งมาก การหาค่าความสูญเสียเนื่องจากการแผ่พลังงานโดยการวิเคราะห์คำนวณทำได้ยาก โดยทั่วไปจะหาโดยวิธีการวัดความสูญเสียจะยิ่งมากถ้าความถี่ใช้งานสูงขึ้น

การสูญเสียอันเนื่องมาจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวนำ บางครั้งเรียกว่าการสูญเสีย โดยที่ กำลังงานจะแปรผันโดยตรงกับกระแสที่กำลังไหลอยู่ในตัวตัวนำ ($P = I^2R$) ในขณะเดียวกัน ความสูญเสียนี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่การใช้งานสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ เกิดจากสิ่งที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ทางผิว (Skin Effect) กล่าวคือ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลไปตามตัวนำ กระแสจะมาออกกันอยู่ใต้ผิวของตัวนำ ยิ่งลึกจากผิวตัวนำเข้าไปกระแสจะยิ่งน้อยลงความถี่ยิ่งสูงขึ้นกระแสก็จะยิ่งขึ้นมาอยู่ใต้ผิวมาก จึงทำให้ความต้านทานของสายส่งต่อหนึ่งหน่วยความยาวไม่คงที่เมื่อเทียบกับความถี่ของสัญญาณ

สำหรับการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวสารไดอิเล็กทริคที่อยู่รอบ ๆ สายส่งนั้นจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันที่เกิดขึ้นบนสายไดอิเล็กทริคและความถี่ อย่างไรก็ตามจะไม่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียกรณีนี้ในสุญญากาศ รวมทั้งในอากาศที่ไม่มีความชื้นก็จะมีความสูญเสียกรณีนี้ต่ำมาก สายส่งสองเส้นที่มีตัวนำที่เท่ากัน สายส่งที่ใช้อากาศเป็นสารไดอิเล็กทริค จะมีความสูญเสีย เนื่องจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวสารไดอิเล็กทริคต่ำกว่า เมื่อใช้สารไดอิเล็กทริคชนิดอื่น ๆ

ดังนั้น ค่าคงตัวการลดทอนของสายส่งจึงไม่คงที่ เมื่อเทียบกับความถี่ ผู้ผลิตมักจะเป็นผู้ให้ค่าคงตัวการลดทอนมาในรูปความสูญเสียเป็นหน่วยเดซิเบลต่อหน่วยความยาวบนตารางหรือกราฟ พร้อมกับระบุความถี่ แต่เนื่องจากมักมีค่าต่ำ จึงอาจให้มาเป็นหน่วยเดซิเบลต่อความยาวมาก ๆ เช่น เป็นเดซิเบลต่อหนึ่งพันเมตร ฯลฯ ก็ได้

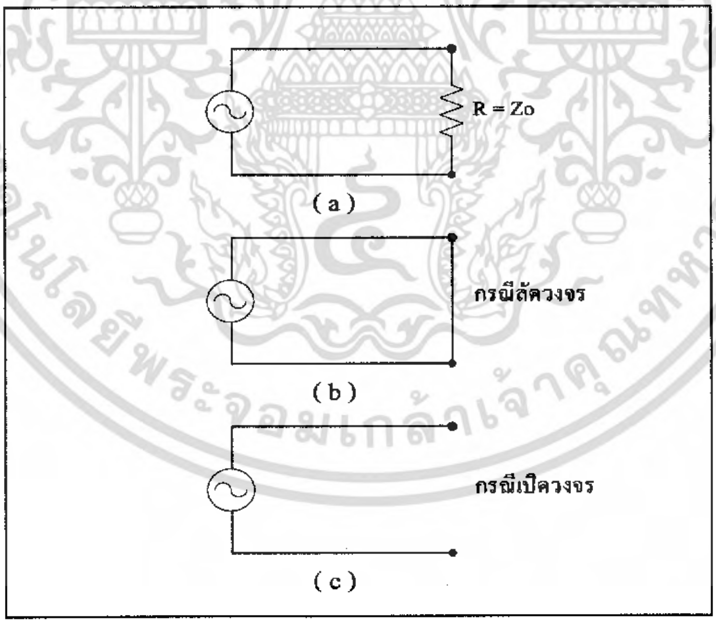
2.8 การต่อโหลดเข้ากับสายนำสัญญาณ

2.8.1 กรณีแมทช์กับสาย

ถ้าเราต่อความต้านทานขนาดเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายเราเรียกการต่อลักษณะนี้ว่า "แมทช์" ในสายส่งที่แมทช์ค่าพลังงานที่ส่งจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลดจะถูกดูดกลืนหายไปที่โหลดหมด ไม่มีการสะท้อนพลังงานกลับไป ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานบนสายเรียกได้ว่า มีการถ่ายทอดพลังงานอย่างสมบูรณ์ ถ้าเรากำหนดให้กำลังงานไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดเท่ากับ V^2/Z_0 และ I^2Z_0 ตามลำดับ

2.8.2 กรณีไม่แมทช์กับสาย

ถ้าต่อความต้านทานที่ขนาดไม่เท่ากับ เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า "ไม่แมทช์"



รูปที่ 2.12 แสดงกรณีไม่แมทช์กับสายนำสัญญาณ

(a) โหลดที่ต่อมีค่าไม่เท่ากับ Z_0

(b) ลัดวงจร (short – circuit line)

(c) เปิดวงจร (open - circuited line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่มาถึงโหลด จะไม่ถูกดูดกลืนจนหมด (ต่างจากกรณี ที่พลังงานหายไปในโหลดจนหมด) ทำให้เหลือพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดเหมือนกับการปาลูกบอลไปกระทบกำแพง ซึ่งการเกิดสภาวะ "ไม่แมทช์" ระหว่างสายส่งกับโหลดมากขึ้นค่าพลังงานที่สะท้อนกลับมาก็จะมากขึ้นด้วย พลังงานทั้งหมดที่มาถึงโหลดถูกสะท้อนกลับมาหมด มี 2 กรณี คือ

2.8.2.1 กรณีลัดวงจร

กำหนดไว้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลดเท่ากับศูนย์ นั่นคือ แรงดันสะท้อนกลับมีขนาดเท่ากันแต่มีเฟสตรงข้ามจะทำให้ผลรวมเท่ากับศูนย์ได้

2.8.2.2 กรณีเปิดวงจร

กำหนดไว้ว่ากระแสที่โหลดต้องเท่ากับศูนย์แสดงว่ากระแสที่สะท้อนกลับต้องมีเฟสต่างกับกระแสที่เดินทางมายังโหลดอยู่ 180 องศา และมีขนาดเท่ากันในทำนองเดียวกัน กรณีลัดวงจร ค่าแรงดันไฟฟ้าที่สะท้อนกลับต้องมีเฟสเหมือนกับส่วนที่เดินทางมาจากโหลด (ขนาดเท่ากัน) ทำให้เกิดการเสริมกันของแรงดันไฟฟ้า

สำหรับกรณีที่มีโหลดต่ออยู่และขนาดไม่เท่ากับ Z_0 พบว่าพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับจากโหลดและมีขนาดน้อยกว่าด้วย เราแยกพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

- กรณี R น้อยกว่า Z_0 แรงดันไฟฟ้าส่วนที่สะท้อนกลับมีเฟสต่างกับที่เดินทางมาโหลดอยู่ 180 องศา (เหมือนกับกรณีวงจร) แต่มีขนาดไม่เท่ากันเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดไม่ได้หายไปที่โหลด

- กรณี R มากกว่า Z_0 กระแสไฟฟ้าส่วนที่สะท้อนกลับมีเฟสต่างกลับที่เดินทางมาโหลดอยู่ 180 องศา (เหมือนกรณีเปิดวงจร) แต่มีขนาดไม่เท่ากันเนื่องจากกระแสทั้งหมดไม่ได้หายไปที่โหลด

2.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient) และ อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR)

ในกรณีถ้าสายส่งมีทั้ง คลื่นที่เดินทางอยู่ (Traveling Wave) และ คลื่นที่สะท้อนกลับ (Reflection Wave) ปนกันอยู่ ซึ่งก็คือ สายส่งที่เกิดการชำรุดหรือสายส่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่งมีค่าไม่เท่ากันทั้งสายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในการแสดงคุณสมบัติการสะท้อนกลับ ณ จุดใดจุดหนึ่งนั้น แสดงโดยอัตราส่วนระหว่างคลื่นทั้งสอง และเรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ซึ่งจะได้ว่า

$$\rho = \frac{V_r}{V_i} \tag{2.49}$$

V_r คือคลื่นที่สะท้อนกลับมา ณ จุดนั้น ๆ

V_i คือคลื่นที่เดินทางหรือตกกระทบที่จุดนั้น ๆ

และมีค่าเท่ากับ

$$\rho = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} \tag{2.50}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z_R คือ ค่าอิมพีแดนซ์ ณ จุดนั้น ๆ

Z_0 คือ ค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสาย

ซึ่งถ้าเราพิจารณา จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดใด ๆ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากแค่ไหน โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เช่น

- ถ้า $Z_R = Z_0$ คือกรณีที่มีอิมพีแดนซ์เท่ากันทั้งสาย จะทำให้ $\rho = 0$ คือไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณเกิดขึ้น

- ถ้า $Z_R = 0$ คือกรณีที่โหลดมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือเกิดการลัดวงจรภายในสายส่งสัญญาณ จะทำให้ $\rho = -1$ คือ สัญญาณสะท้อนกลับ 100 % เนื่องจาก $V_r = -V_i$ จึงเป็นคลื่นสะท้อนกลับแบบลบ (Negative return pulse)

- ถ้า $Z_R = \infty$ คือกรณีที่เกิดโหลดมีค่าเท่ากับอนันต์ หรือเกิดการขาดของสายส่งสัญญาณ จะทำให้ $\rho = 1$ คือสัญญาณสะท้อนกลับ 100% เนื่องจาก $V_r = V_i$ จึงเป็นคลื่นสะท้อนกลับแบบบวก (Positive Return Pulse)

ในสายส่ง ณ ที่จุดใด ๆ ก็ตามผลรวมของ Traveling Wave และ Reflected Wave นี้ดูเหมือนว่าจะเป็นคลื่นเดียวที่อยู่กับที่ โดยไม่คำนึงถึงเวลา ซึ่งเรียกคลื่นนี้ว่า คลื่นนิ่ง (Standing Wave) ซึ่งอัตราส่วนของแรงดันสูงสุดต่อแรงดันต่ำสุด เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r} \tag{2.51}$$

และจะมีความสัมพันธ์กับค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดังนี้

$$VSWR = \frac{1 + \frac{V_r}{V_i}}{1 - \frac{V_r}{V_i}} \tag{2.52}$$

$$VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \tag{2.53}$$

$$|\rho| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \tag{2.54}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ความรู้เบื้องต้นสำหรับ TDR (Time Domain Reflectrometer)

TDR เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบ่งบอกตำแหน่งจุดเสียของสายเคเบิล ซึ่งมีมาเป็นเวลานานแล้ว และยังคงเป็นวิธีการที่รวดเร็วและถูกต้องมากที่สุด ในอดีตจะมีเพียงบริษัทใหญ่ ๆ และวิศวกรในระดับสูงเท่านั้นที่มีโอกาสได้ใช้เครื่องมือนี้ เนื่องจากความซับซ้อนในการใช้งานและอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ในช่วงต้นปี 1980 TDR ได้เริ่มที่จะนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริง ๆ จัง ๆ เมื่อบริษัท Riser Bond Instruments ได้พยายามที่จะพัฒนา TDR รุ่นแรกขึ้นและทำต่อเรื่อย ๆ มาจนกระทั่งปัจจุบัน TDR ระบบดิจิตอล ได้เป็นเครื่องมือระดับมาตรฐานสำหรับช่างเทคนิคระดับต้นไปแล้ว

เครื่องมือชนิดนี้ได้ใช้เทคนิคใหม่ในการวัดระยะหาตำแหน่งเสียของสายตัวนำ ซึ่งแตกต่างจากระบบเก่าอย่างสิ้นเชิง เดิมเครื่องมือวัดหาตำแหน่งเสียของสายเคเบิลใช้หลักการของบริดจ์ (Bridge) ซึ่งจะวัดค่าความต้านทานหรือค่าความจุไฟฟ้าของสาย แต่ TDR จะทำงานคล้ายกับสัญญาณเรดาร์ โดยจะทำการส่งสัญญาณพัลส์เข้าไปในสายเคเบิล เมื่อเดินทางไปถึงปลายสายหรือพบจุดเสียของสายเคเบิล เนื่องจากสภาพและคุณสมบัติทางสายตรงตำแหน่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ตรงตำแหน่งนั้นไม่แมทช์ (Mismatch) กับอิมพีแดนซ์ของสาย (Characteristic Impedance or Cable Impedance) สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปนั้นก็จะสะท้อนกลับมาที่เครื่องวัด แล้วก็จะทำการตรวจสอบเวลาที่สัญญาณเดินทางไปและกลับ แล้วทำการแปลงช่วงเวลานี้ให้เป็นระยะทางต่อจากนั้นก็ทำการแสดงผลต่อไป บางครั้งอาจจะเรียกเครื่องมือชนิดนี้ว่า Pulse Echo Tester หรือ Pulse Reflection Instrument

เราสามารถแบ่งชนิดของ TDR ออกเป็น 2 ประเภทตามการแสดงผล ดังนี้

1. ชนิดแสดงผลโดยใช้รูปคลื่นจริงที่สะท้อนตกลับให้ปรากฏบนจอภาพ วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันในรุ่นแรก ๆ โดยจะแสดงรูปพัลส์ที่ส่งออกไปและที่สะท้อนกลับบนหน้าจอ จากนั้นผู้วัดจึงนำรูปสัญญาณที่วัดได้ไปประมวลผลเพื่อทราบตำแหน่งจุดเสีย หรือชนิดของการเสียหายที่เกิดขึ้นต่อไป

2. ชนิดแสดงผลโดยใช้ตัวเลขในการบอกตำแหน่งระยะทางของจุดเสีย วิธีนี้ในปัจจุบันนิยมใช้กันมาก เพราะสามารถบ่งบอกความเสียหายได้เลยและสามารถเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะได้นำเทคโนโลยีด้านดิจิตอลเข้ามาช่วยในการประมวลผลและแสดงผล นอกจากนี้ยังสามารถแสดงชนิดของการเสียหายอื่น ๆ ได้อีก เช่น เกิดการช็อต หรือ ขาด ที่จุดเสีย และสภาวะที่เกิดเป็นแบบ อิมพีแดนซ์สูง หรืออิมพีแดนซ์ต่ำ

ในวิธีที่ 1 สามารถบ่งบอกข้อมูลได้มากกว่าวิธีที่ 2 แต่วิธีที่ 2 สามารถทำงานได้ง่าย และ สะดวกกว่ามาก ดังนั้นเครื่องมือส่วนใหญ่ จึงใช้แบบวิธีที่ 2 นี้

นอกจากนี้ TDR สามารถตรวจวัดตัวนำโลหะประเภท สายคู่และสายโคแอกเชียล ได้ และยังสามารถที่จะตรวจวัดความเสียหายเพียงเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่เกิดขึ้นกับสายเคเบิลได้ เช่น ตัวนำที่เสื่อมสภาพ การสึกกร่อนจากน้ำ ฉนวนที่หุ้มตัวนำเกิดการเสียหาย ฯลฯ ได้ และแม้ว่าเครื่องมือที่เราใช้อยู่ในปัจจุบันนี้จะง่ายและถูกต้องก็ตาม เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการทำงานเช่นเดียวกับอุปกรณ์อื่น ๆ เราควรทำความเข้าใจหลักการทำงานของ TDR ให้ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น

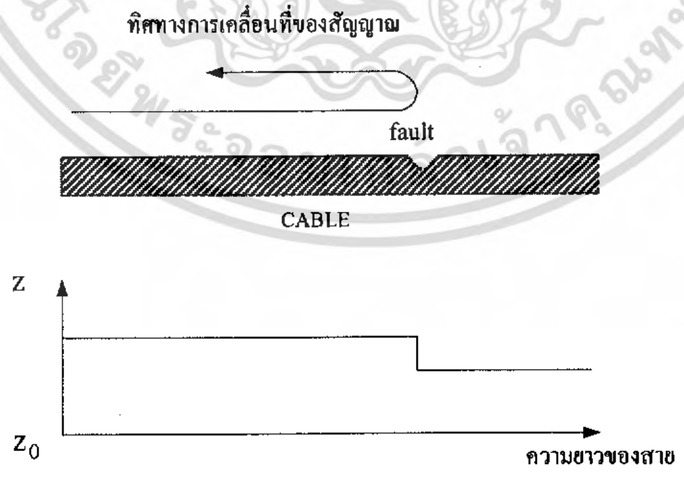
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 หลักการทำงานของ TDR

เมื่อตัวนำ 2 เส้นนำมาวางใกล้กันจะก่อให้เกิดค่าอิมพีแดนซ์ขึ้น TDR จะตรวจหาค่าอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไป ค่าอิมพีแดนซ์ ของสายขึ้นอยู่กับค่าระยะห่างระหว่างตัวนำและค่าของไดอิเล็กทริคนี้ ถ้าสายถูกคั่นด้วยระยะทางที่คงที่และค่าไดอิเล็กทริคที่คงที่แล้วสายเคเบิลจะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่คงที่และถ้าค่าระยะห่างไม่แน่นอน ค่าของฉนวนเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเปลี่ยนแปลงไปด้วย

โดยปกติแล้วสายส่งสัญญาณแต่ละชนิดจะมีค่าอิมพีแดนซ์คงที่ตลอดความยาวสาย เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายมีค่าคงที่ดังนั้นถ้าเราทำการส่งสัญญาณตรวจสอบเข้าไปในสายสัญญาณจะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวสาย โดยจะไม่มีการสะท้อนกลับมาของสัญญาณเลย และถ้าหากว่าส่วนใดของสายส่งสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหมายถึงตำแหน่งที่สายส่งสัญญาณเกิดการชำรุด จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ตำแหน่งนั้น ๆ

รูปที่ 2.13 การเคลื่อนที่ของสัญญาณพัลส์ในสายดี



รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่ของสัญญาณพัลส์ในสายเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TDR จะทำการส่งพัลส์เข้าไปในสายเคเบิล และตรวจวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับ ถ้าตำแหน่งใดของสายที่อิมพีแดนซ์เกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้สัญญาณเกิดการสะท้อนกลับมายัง TDR จากนั้น จึงนำสัญญาณที่สะท้อนกลับมา ไปประมวลผลและแสดงออกมาให้ทราบได้ว่า ระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสียของสาย สามารถนำมาคำนวณหาระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสีย

$$D = \frac{U \times T_p}{2} \qquad (2.54)$$

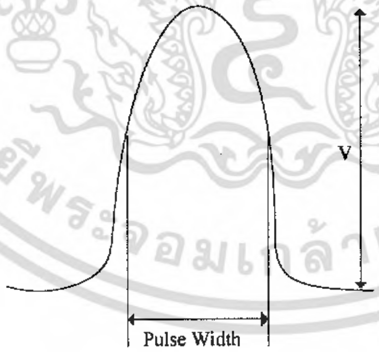
เมื่อ D คือ ระยะทางจากวัดถึงจุดที่เสีย

U คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของสายส่งสัญญาณ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ $u = \frac{u_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\varepsilon_r}}\ m\ /\ s$ โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง $180\ m\ /\ \mu s$ ถึง $230\ m\ /\ \mu s$

T_p คือ เวลาที่สัญญาณใช้ในการเคลื่อนที่ภายในสาย ตั้งแต่ส่งสัญญาณออกไปจนสะท้อนกลับมา

2.10.2 สัญญาณที่ส่งเข้าไปในสาย

สัญญาณที่ใช้ในการทดสอบส่งเข้าไปในสายส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณ Sine–Squared Pulse ซึ่งมีขนาดแรงดันประมาณ 10 -30 V_{peak} และขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse Width) อยู่ในช่วง 1 ns – 2 μs ขึ้นอยู่กับรุ่น ยี่ห้อ และชนิดการใช้งาน เช่น TDR ที่ใช้สำหรับวัดระยะไกลแรงดันที่ต้องใช้สูง Pulse Width ขนาดกว้าง เพื่อให้สัญญาณที่ส่งไปสามารถเคลื่อนที่ไปถึงจุดเสียได้และสะท้อนกลับมายังเครื่อง



รูปที่ 2.15 รูปสัญญาณพัลส์ที่ส่งเข้าไปในสาย

เครื่อง TDR หลายแบบจะมีย่านการเลือกที่กำหนดขนาดของพัลส์ ยิ่งขนาดของพัลส์กว้างพลังงานที่ถูกส่งออกไปยิ่งมากขึ้นตามจึงสามารถส่งไปได้ไกล ความกว้างของพัลส์อาจจะเป็น 10 ns, 100 ns, 1000 ns, 2000 ns หรือ 4000 ns ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน และเครื่อง TDR โดยทั่วไปจะไม่สามารถปรับแรงดันได้ ยกเว้นเครื่องที่ใช้ในการวัดระยะไกล จะสามารถปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมในแต่ละระยะของการวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดความกว้างของสัญญาณที่ส่งไปจะถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม ในแต่ละระยะของการวัด เนื่องจากสัญญาณแต่ละขนาดให้ผลการวัดที่ดีในระยะต่าง ๆ กัน สัญญาณขนาดแคบ ๆ จะถูกใช้ในการวัดสายระยะสั้น เพื่อให้สามารถแยกสัญญาณที่ส่งไปและสะท้อนกลับได้อย่างชัดเจน ไม่ซ้อนทับกัน TDR ที่มีสัญญาณขนาดแคบมากเท่าไร ก็สามารถวัดระยะจุดเสียได้ใกล้ขึ้นเท่านั้น แต่ถ้าสัญญาณขนาดความกว้างของพัลส์ต่ำสุดไม่แคบพอ ในบางครั้งจะมีปัญหาในการวัดหาตำแหน่งเสีย เพราะถ้าจุดวัดอยู่ใกล้กับจุดเสียมาก ๆ จะทำให้สัญญาณที่ส่งออกไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับเกิดการซ้อนทับกันทำให้การประมวลผล เกิดความผิดพลาดได้

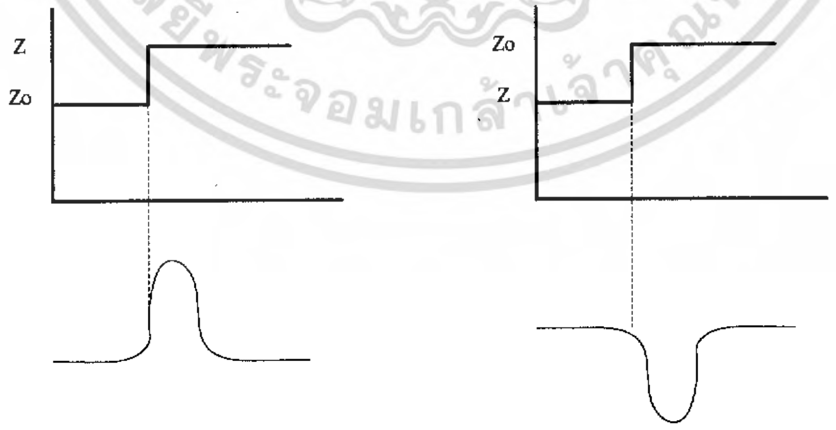
พัลส์ที่มีขนาดเล็กจะมีพลังงานน้อยกว่าพัลส์ที่มีขนาดใหญ่ สำหรับการวัดสายระยะไกลต้องใช้พัลส์ที่มีพลังงานมาก ขนาดความกว้างของพัลส์ก็ต้องมากขึ้นตาม เพื่อที่สามารถส่งไปได้ไกลถึงจุดที่อาจเกิดความเสียหายและสามารถที่จะสะท้อนกลับมายังเครื่องวัดได้ ดังนั้น ในการวัดระยะจุดเสียของสายเคเบิล เราจึงต้องเลือกขนาดความกว้างของพัลส์ให้เหมาะสมกับความยาวของสายเคเบิล เพื่อที่จะทำให้พัลส์ที่ถูกส่งออกไปมีพลังงานเหลือเพียงพอที่จะสะท้อนกลับมายังเครื่องวัด ถ้าเราใช้พัลส์ที่มีขนาดเล็กส่งไปในสายระยะยาว สัญญาณจะถูกลดทอนภายในสายจนทำให้สัญญาณไม่มีพลังงานเหลือเพียงพอที่จะสะท้อนกลับมาที่เครื่องวัด

เพราะฉะนั้นการเลือกความกว้างของพัลส์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะเราจะต้องเลือกให้เหมาะสมโดยจะต้องคำนึงถึงระยะที่ใช้วัด และค่าการลดทอนภายในสายทั้งสองอย่างควบคู่กันไป

ในทางปฏิบัติงานจริง เมื่อต้องการตรวจสอบสายเคเบิลที่ยาวมาก ๆ ให้เริ่มจากการเลือกขนาดของพัลส์ที่มีขนาดกว้างเล็กที่สุด และเพิ่มความกว้างไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบตำแหน่งที่ชำรุด

2.10.3 รูปร่างและสัญญาณสะท้อนกลับ

สัญญาณที่สะท้อนกลับมานั้นจะสะท้อนกลับมาได้ตรงตำแหน่งที่อิมพีแดนซ์ มีการเปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ เปลี่ยนแปลงไปในทางที่เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง สิ่งเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการสะท้อนที่แตกต่างกัน



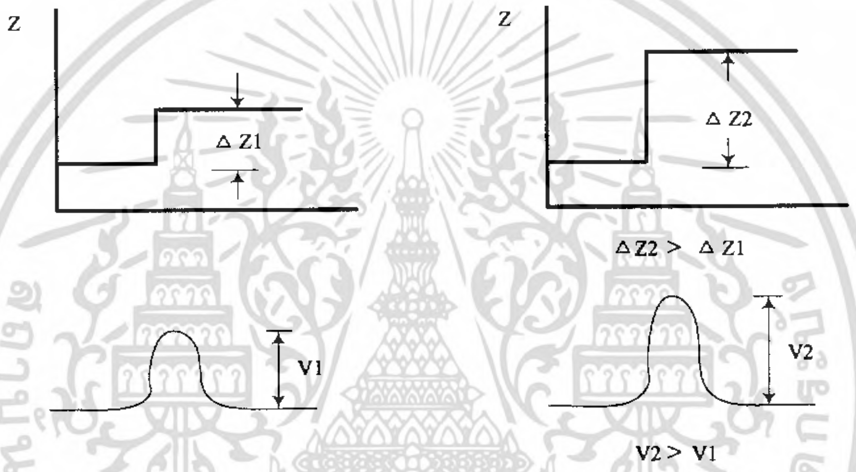
ก) พัลส์สะท้อนกลับแบบบวก **ข) พัลส์สะท้อนกลับแบบลบ**

รูปที่ 2.16 รูปร่างของสัญญาณสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ากรณีที่อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เพิ่มขึ้น สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะมีลักษณะเดียวกันกับสัญญาณที่ส่งไปหรือที่เรียกว่า พัลส์สะท้อนกลับแบบบวก (Positive Return Pulse) แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลงสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะมีลักษณะที่ตรงกันข้ามกับสัญญาณที่ส่งไป หรือที่เรียกว่า พัลส์สะท้อนกลับแบบลบ (Negative Return Pulse) จากเหตุผลที่แตกต่างดังกล่าว ทำให้เราสามารถที่จะวิเคราะห์ลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่แตกต่างกัน การที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น คือ ความเสียหายแบบ Series Fault อันได้แก่ สายขาด, หลวม หรือเกิดออกไซด์ที่จุดต่อ และการที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ลดลง คือ ความเสียหายแบบ Shunt Fault อันได้แก่ สายลัดวงจร, สายแตะดิน เป็นต้น

อิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปนอกจากจะมีผลต่อลักษณะของสัญญาณที่สะท้อนกลับแล้ว ยังมีผลต่อขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับอีกด้วย ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับ

จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับจะมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยเพียงใด ถ้าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปมากก็จะทำให้ขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมีค่ามาก แต่ถ้าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยขนาดของสัญญาณ ที่สะท้อนกลับก็น้อยลงไปด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับจะแสดงให้เห็นว่าอิมพีแดนซ์ของสายเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด ในทางปฏิบัติจะเห็นว่ากรณีที่เกิดความเสียหายขึ้นไม่รุนแรง สัญญาณจะสะท้อนกลับมาเพียงเล็กน้อย จะทำให้ยากต่อการวัดหาตำแหน่งเสีย เนื่องจากอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

โดยทั่วไปการสะท้อนกลับของสัญญาณจะมากหรือน้อยจะถูกกำหนดในรูปของสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนกลับของสัญญาณ ที่จุดนั้น ๆ โดยการเปรียบเทียบสัญญาณที่สะท้อนกลับมากับสัญญาณที่ส่งไป ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

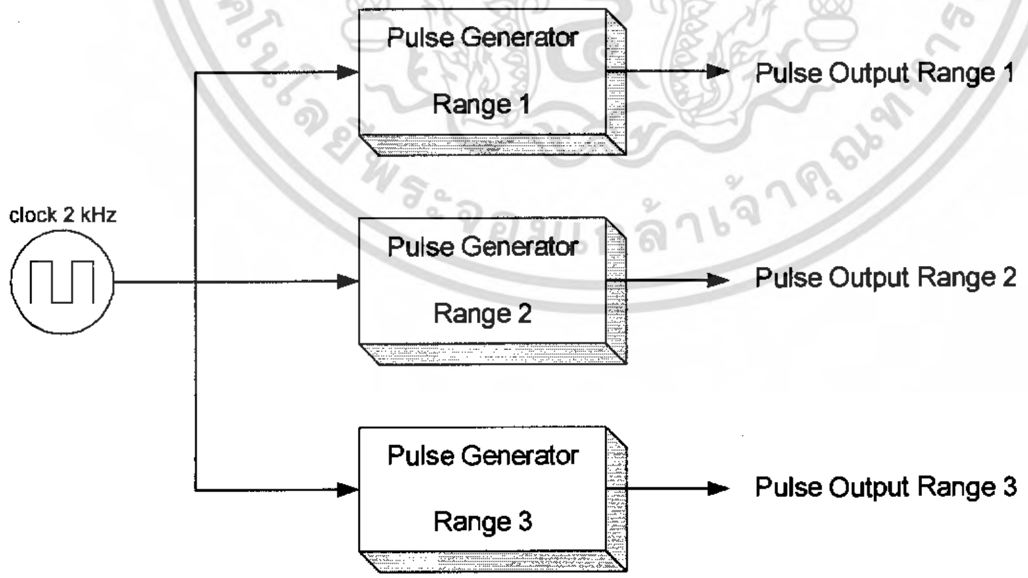
ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware)

บล็อกไดอะแกรมของระบบ

บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)
2) วงจรเลือกสัญญาณ (Selector)
3) วงจรตรวจจับสัญญาณ (Pulse Detector)
4) วงจรรวมสัญญาณ (Summing Circuit)
5) วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (Time & Status Detector)
6) วงจรคูณสัญญาณ (Multiplier)
7) วงจรนับ (Counter)
8) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit)
9) วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์ (Matrix Switch)
10) จอแสดงผล (Liquid Crystal Display Module)
11) ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (Real Time Clock : RTC)

3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#74HC221/#4069,#74HC4040)



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

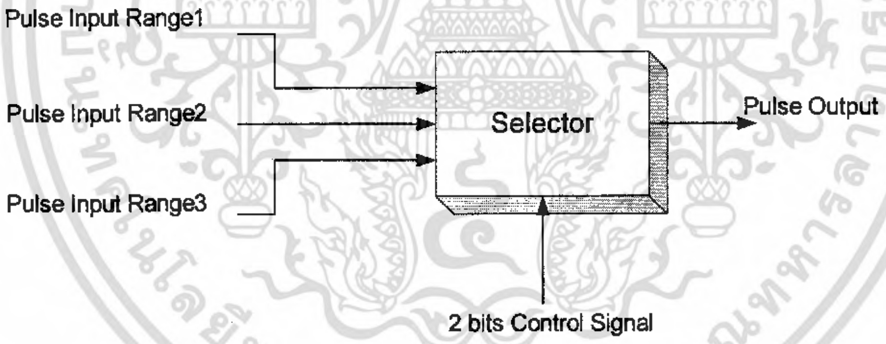
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ย่านตามความเหมาะสมดังนี้ 60 nsec, 340 nsec, 830 nsec โดยเหตุผลที่จะต้องทำการแบ่งออกเป็นย่านดังกล่าวเพื่อให้เหมาะสมกับระยะทางหรือความยาวของสายส่งที่จะทำการทดสอบเพื่อให้ง่ายต่อการนำมาประมวลผลในขั้นตอนต่อไป โดยมีการใช้สัญญาณอินพุต เป็นพัลส์ความถี่ 2 kHz เป็นตัวควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต

ซึ่งความกว้างของพัลส์นี้จะมีผลต่อการวัดระยะทางรวมถึงขีดความสามารถในการวัด นั่นคือระยะทางที่ใกล้ที่สุดและไกลที่สุดที่จะทำการวัดขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลส์ ถ้าต้องการให้เครื่องมือสามารถวัดได้ในสายสัญญาณที่มีความยาวสั้น ๆ ความกว้างของพัลส์จะต้องมีความแคบมาก ๆ ถ้าความกว้างของพัลส์ไม่เหมาะสมกับระยะทางของสายส่งที่จะทำการทดสอบแล้วจะทำให้เกิดการซ้อนทับกันระหว่างคลื่นที่ทำการส่งไป (Traveling Wave) กับคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากสายส่ง (Reflected Wave) ถ้าเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นเราจะไม่สามารถนำสัญญาณไปวิเคราะห์หรือนำไปประมวลผลได้

ซึ่งในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้ จะใช้ IC #74HC221 โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz ป้อนเข้าวงจรเป็น สัญญาณนาฬิกาควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต โดยสัญญาณนาฬิกา 2 kHz นี้มาจากสัญญาณที่ได้จากคริสตอลออสซิลเลเตอร์ แล้วนำมาทำการหารความถี่

3.2 วงจรเลือกสัญญาณ (#74HC151)



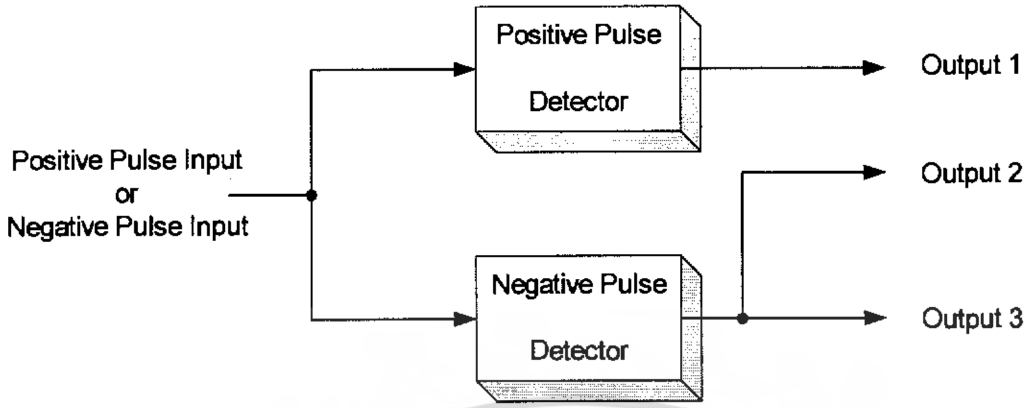
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเลือกสัญญาณ

ในส่วนของวงจรเลือกสัญญาณ นั้น เราจะใช้ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยพัลส์ไปสู่ส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณ โดยในส่วนของวงจรนี้จะรับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ เข้ามาทั้ง 3 สัญญาณ แต่จะส่งสัญญาณพัลส์ออกไปเพียงอันเดียว โดยกำหนดสัญญาณเอาต์พุตได้จากสัญญาณควบคุมที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

ซึ่งในส่วนของวงจรเลือกสัญญาณนี้ เราได้ใช้ IC#74HC151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ (#UA710)



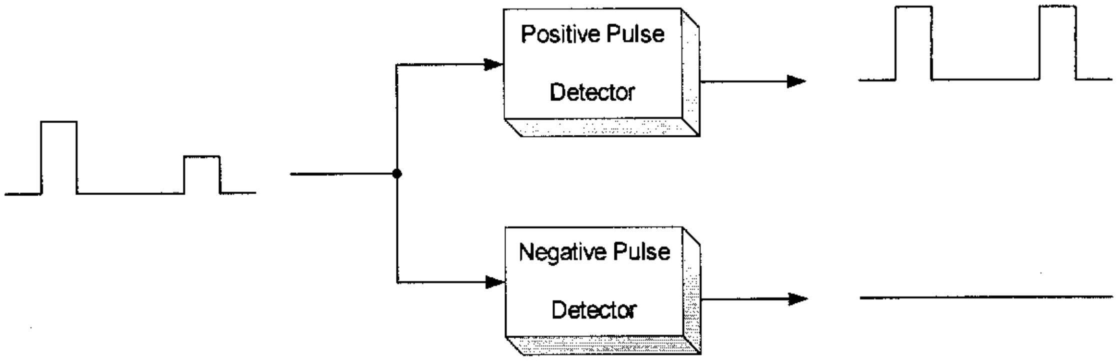
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับสัญญาณ

วงจรตรวจจับสัญญาณ ส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณพัลส์ทั้งขาส่ง (Traveling Wave) และสัญญาณพัลส์ที่สะท้อนกลับมา (Reflected Wave) ซึ่งจะประกอบไปด้วย วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Positive Pulse Detector) และวงจรตรวจจับพัลส์ลบ (Negative Pulse Detector) วงจรตรวจจับนี้จะให้เอาต์พุตออกมา ซึ่งเอาต์พุต 1 และ เอาต์พุต 2 จะถูกส่งไปยังวงจรรวมสัญญาณต่อไป ส่วนเอาต์พุต 3 จะถูกส่งไปวงจร T – Flip Flop 2 เพื่อทำการแยกลักษณะของการชำรุดของสาย

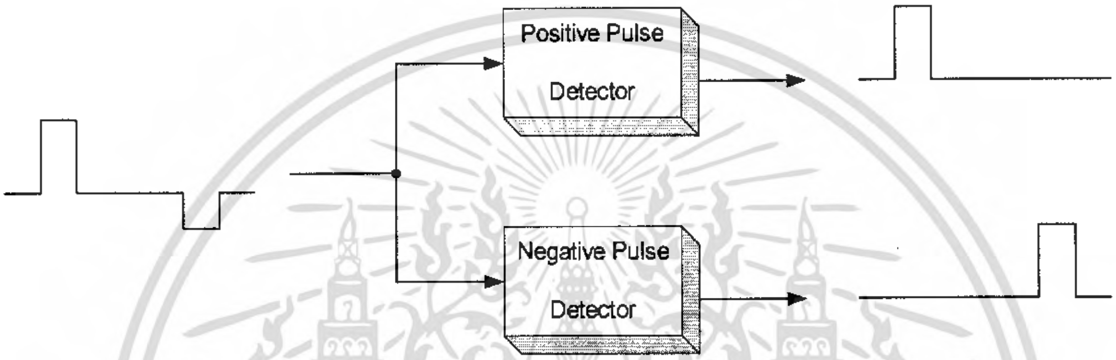
ลักษณะการตรวจจับจะใช้ OP – AMP ที่ต่อเป็นวงจร Comparator โดยจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณบวกและสัญญาณลบ ดังนั้นในภาคนี้จะต้องมีการปรับแต่งระดับของแรงดันเปรียบเทียบเพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงในการตรวจจับสัญญาณคลื่นที่เป็นทั้งคลื่นบวกและคลื่นลบให้ได้ โดยแรงดันเปรียบเทียบนี้จะต้องมีความเหมาะสม ไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป โดยลักษณะสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณจะแสดงดังรูปที่ 3.4

ซึ่งในส่วนวงจรนี้ เราใช้ IC #UA710 เป็นตัวตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



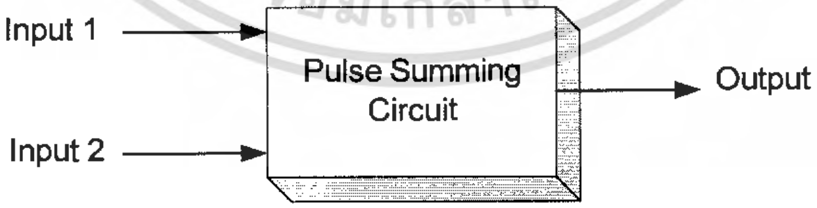
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณ
เมื่อ (ก) ปลายสายทดสอบเปิด
(ข) ปลายสายทดสอบลัดวงจร

3.4 วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32)

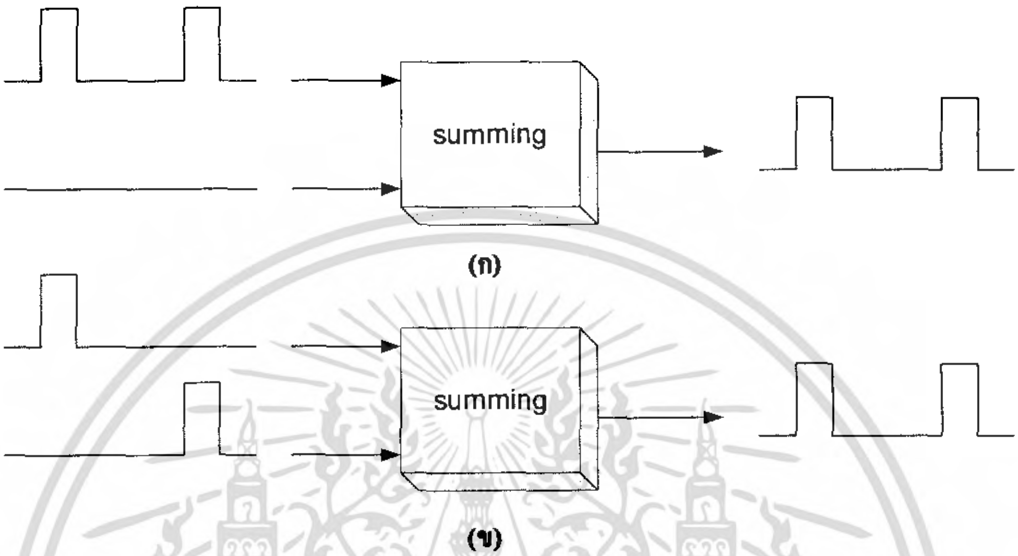


รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

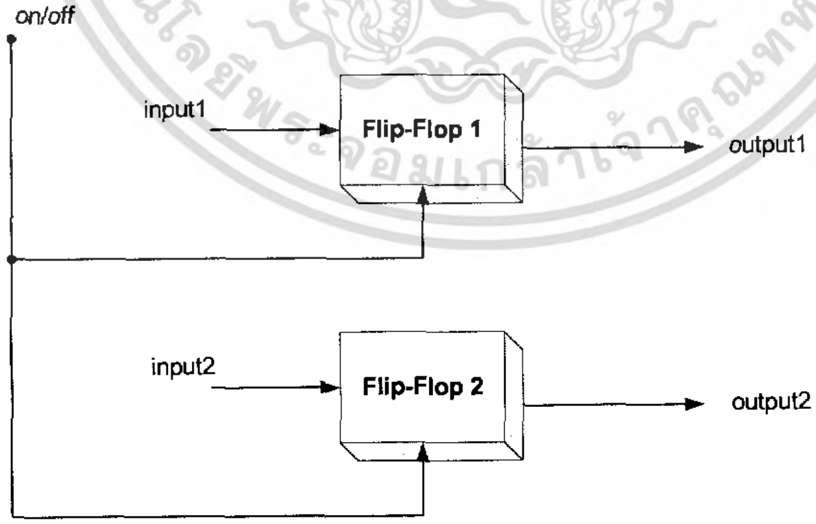
ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ 2 สัญญาณที่ส่งมาจากวงจรตรวจจับสัญญาณ เพื่อนำสัญญาณเหล่านี้มาทำการรวมกันทางแกนเวลา (Time Domain) โดยสัญญาณเอาต์พุตของวงจรนี้จะเป็นสัญญาณพัลส์ 2 ลูก ซึ่งระยะห่างระหว่างพัลส์ทั้ง 2 ลูกนี้จะเป็นสัดส่วนกับความยาวของสาย ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณจะแสดงดังรูปที่ 3.6

ซึ่งในส่วนวงจรนี้ เราใช้ IC #74HC32 ซึ่งเป็น OR-GATE



รูปที่ 3.6 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ
เมื่อ (ก) ปลายสายทดสอบเปิด
(ข) ปลายสายทดสอบลัดวงจร

3.5 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74)

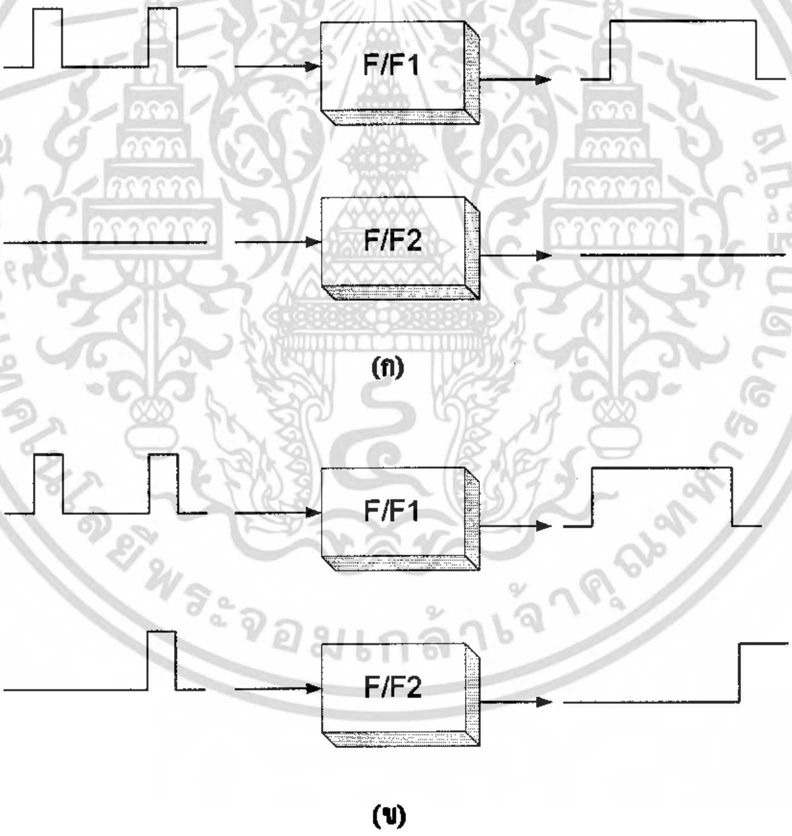


รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาคนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ D – Flip Flop 1 หรือส่วนของวงจรตรวจจับเวลา ซึ่งจะมีหน้าที่คือ แปลงระยะห่างระหว่างพัลส์ 2 ลูก ซึ่งได้รับสัญญาณมาจากในส่วนของวงจรรวมสัญญาณ คือ พัลส์ขาส่งกับพัลส์สะท้อนกลับให้เป็นพัลส์ลูกเดียวที่มีความกว้างของพัลส์เท่ากับระยะห่างระหว่างพัลส์ 2 ลูกนี้ เพราะ D– Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะเมื่อมีพัลส์บวกเข้ามา ซึ่งก็คือเมื่อเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณลูกแรกเข้ามา D – Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะจาก “0” เป็น “1” ไปจนกระทั่งมีเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณอีกตัวหนึ่งมาจะทำให้ D – Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะจาก “1” เป็น “0” จะทำให้ได้เอาต์พุตจากวงจร D – Flip Flop เป็นลักษณะสัญญาณพัลส์ลูกเดียว ซึ่งความกว้างของพัลส์นั้น ก็คือระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนไปและกลับ ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะส่งไป ยังวงจรคูณสัญญาณ เพื่อจะนำไปประมวลผลต่อไป

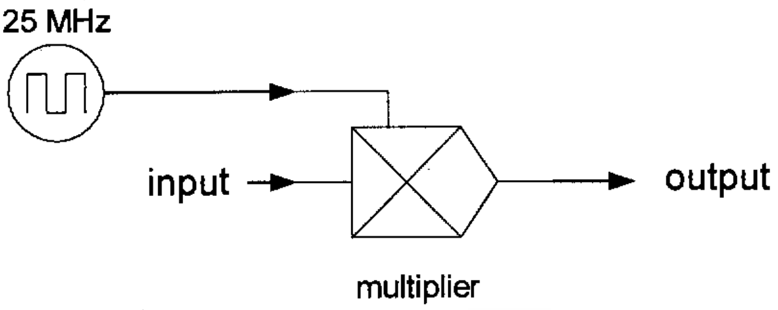
ส่วน D – Flip Flop 2 จะมีหน้าที่คือ ตรวจสอบสถานะของสายว่าเป็นการชำรุดแบบใด โดยจะรับสัญญาณมาจากวงจรตรวจจับพัลส์ลบ จากนั้นจึงส่งสัญญาณที่ได้ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผล ซึ่งถ้าสัญญาณเอาต์พุตจาก D – Flip Flop 2 เป็น “1” แสดงว่าสายลัดวงจร แต่ถ้าสัญญาณเอาต์พุตจาก D– Flip Flop 2 เป็น “0” แสดงว่าสายขาด โดยลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะจะแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ
เมื่อ (ก) ปลายสายทดสอบเปิด
(ข) ปลายสายทดสอบลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

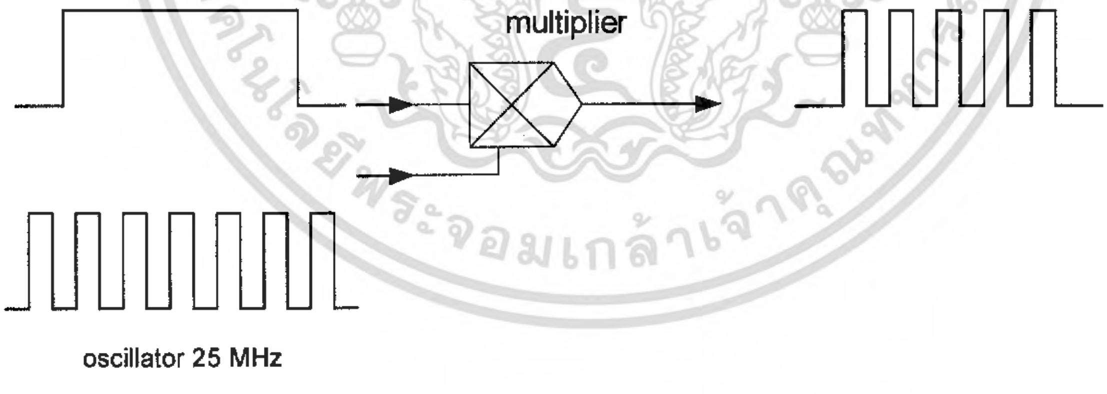
3.6 วงจรคูณสัญญาณ (#74LS08,Oscillator 25 MHz)



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจรคูณสัญญาณ

ในส่วนนี้อินพุตของระบบคือสัญญาณพัลส์จาก D – Flip Flop 1 ซึ่งเป็นพัลส์ที่มีความกว้างเท่ากับเวลาที่แตกต่างกันของพัลส์ขาส่ง และพัลส์ที่สะท้อนกลับ สัญญาณพัลส์ลูกนี้จะผ่านเข้ามายังวงจรคูณสัญญาณ โดยมีสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (Square Pulse) ความถี่ 25 MHz เป็นตัวคูณ กับสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามา ดังนั้นเราจึงกล่าวได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตของ D – Flip Flop 1 เมื่อผ่านระบบนี้แล้ว ความกว้างของพัลส์จะถูกระบบนี้แบ่งความกว้างของพัลส์ออกเป็น พัลส์ลูกเล็ก ๆ จำนวนหนึ่งและสัญญาณเอาต์พุตที่ได้นี้จะนำไปประมวลผลยังภาคต่อไป โดยลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรคูณสัญญาณจะแสดงดังรูปที่ 3.10

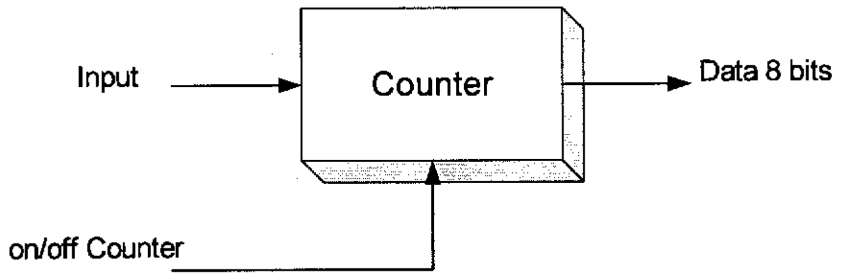
ซึ่งในส่วนของวงจรคูณสัญญาณนี้ เราใช้ IC#74LS08 ซึ่งเป็น AND-GATE 2 อินพุต ร่วมกับออสซิลเลเตอร์ 25 MHz



รูปที่ 3.10 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรคูณสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรนับ (#74HC393)



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของวงจรนับ

การทำงานในส่วนนี้จะทำหน้าที่นับสัญญาณอินพุต ซึ่งในที่นี้จะเป็นสัญญาณที่ได้จากการคูณระหว่างสัญญาณที่ได้จาก D – Flip Flop 1 กับสัญญาณพัลส์ความถี่ 25 MHz โดยที่วงจรภาคนับจะทำการนับทุก ๆ ช่วงการคูณสัญญาณ นั่นคือวงจรนับจะนับเฉพาะช่วงที่เกิดระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับเท่านั้นพร้อมกับคงค่าที่นับได้อยู่ช่วงหนึ่ง หลังจากนั้นวงจรก็จะหยุดนับ โดยค่าที่นับได้นี้จะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำคำนวณออกมาเป็นช่วงเวลา (คือ คำนวณความกว้างของสัญญาณพัลส์จาก D – Flip Flop 1 นั่นเอง) โดยวิธีการก็คือ นำค่าที่นับได้จากวงจรนับมาคูณกับคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ความถี่ 25 MHz (0.04 usec) นั่นเอง

ส่วนสัญญาณ On/Off Counter นั้นเราใช้สัญญาณนาฬิกา 2 kHz มาผ่านอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อเป็นตัวบอกให้เริ่มนับและหยุดนับพร้อมทั้งคงค่าที่นับได้ เพราะถ้าเราทำการป้อนสัญญาณที่ได้จากการคูณเข้าไปนับโดยตรงจะเกิดปัญหาคือ การนับจะไม่เป็นระเบียบและไม่สามารถหาค่าเอาต์พุตที่จะนำไปประมวลผลได้

ซึ่งในส่วนของวงจรนี้เราได้ใช้ IC#74HC393 ซึ่งเป็น IC 8 Bit Counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89S8252)

คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต อย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับอนุกรม AT89Sxx
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	**หน่วยความจำโปรแกรม**	**หน่วยความจำข้อมูล**	**จำนวนไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ 16 บิต**
AT89C1051	แบบแฟลชขนาด 1กิโลไบต์	แรม 64 ไบต์	1
AT89C2051	แบบแฟลชขนาด 2กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C51	แบบแฟลชขนาด 4กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C52	แบบแฟลชขนาด 8กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89C55	แบบแฟลชขนาด 20 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89S8252	แบบแฟลชขนาด 8กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์ อีอีพรอม 2 กิโลไบต์	3
AT89S53	แบบแฟลชขนาด 12กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
P89C51RD2	แบบแฟลชขนาด 64กิโลไบต์	แรม 1 กิโลไบต์	3

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่ใช้ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาการใช้งานพื้นฐานเหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 3.12 โดยมีรายละเอียดขั้นต้นดังนี้

ขา Vcc เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์

ขา GND เป็นขากราวด์

ขาพอร์ต 0 (P0.0 – P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตพอร์ตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0 – A7) และขาข้อมูล (D0 – D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0 – P1.7) มี 8 ขา แต่ละขา สามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 1 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนั้นในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0 – P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 2 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8 – A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0 – P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 3 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ก็สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ มีรายละเอียดดังนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{\text{INT0}}$

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา $\overline{\text{INT1}}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์ไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์ไทเมอร์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซตสถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเกิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

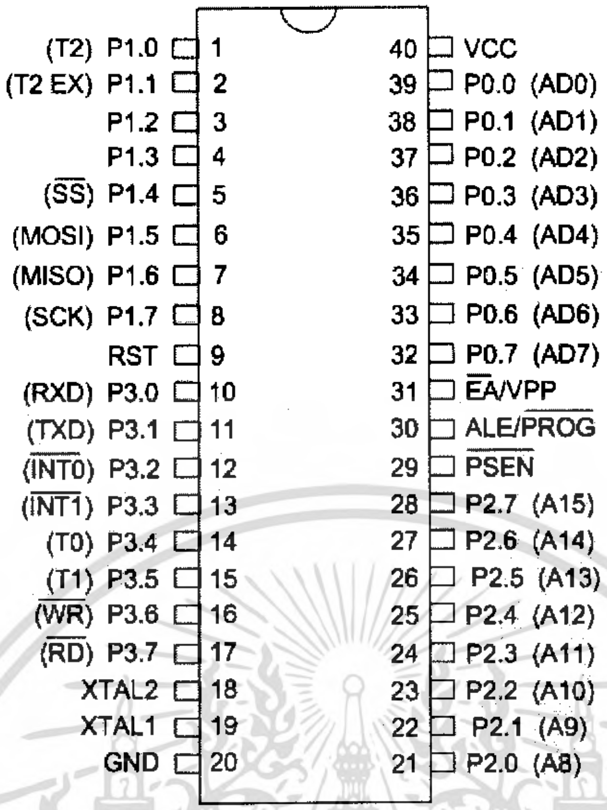
ขา $\overline{\text{ALE/PROG}}$ (Address Latch Enable/Program Pulse Input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแลตซ์ (latch) ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีพรอม

ขา $\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง ในแต่ละแมชชีนไซเกิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใด ๆ ออกมา

ขา $\overline{\text{EA}}$/VPP (External Access Enable/Programming Voltage Input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายในหรือภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยถ้ามีสถานะเป็น “0” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้ามีสถานะเป็น “1” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูง สำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรมคือ +12 V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252

3.8.2 การติดต่อกับอุปกรณ์ระบบบัส I^2C

I^2C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัส I^2C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลัก คือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อ สั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือ สายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือ สายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I^2C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

สายข้อมูลบนบัส I^2C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA (Serial Data line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL (Serial Clock line) ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่า สาย SDA และ SCL

3.8.2.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi-directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาท์พุตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (open-drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (open-collector)

อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400 pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่า คือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing)

อุปกรณ์ต่างๆที่ต่ออยู่บนบัส I^2C จะทำหน้าที่ต่างๆกัน ดังนี้

- อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า *ตัวส่ง (Transmitter)*
- อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า *ตัวรับ (Receiver)* อุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I^2C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว
- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า *มาสเตอร์ (Master)*
- อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรือที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C เรียกว่า *สเลฟ (Slave)*

3.8.2.2 ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของบัส I^2C

- **สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C**

มีด้วยกัน 5 สภาวะ คือ

(1) บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

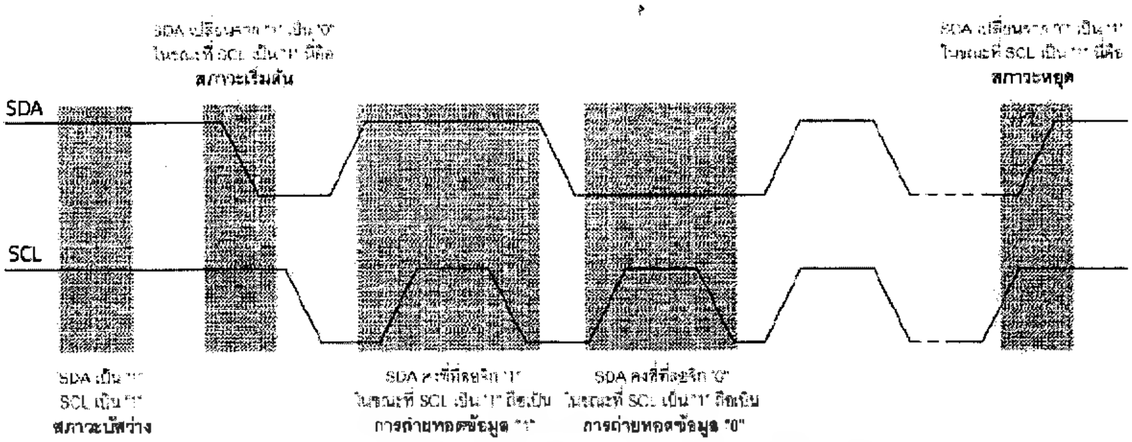
(2) เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (Start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (START)

(3) ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (Data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่าเป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง

(4) รับรู้ข้อมูล (Acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิต เรียกว่า บิตรับรู้ (Acknowledge Bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำเพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

(5) หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (Stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะหยุด (STOP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆบนระบบบัส I^2C

- **การทำงานบนบัส I^2C**

เริ่มต้นด้วยการเข้าถึงอุปกรณ์เสียก่อน โดยการเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นใช้การเข้าถึงแบบ 7 หรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก ใช้การเข้าถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ในบางอุปกรณ์ต้องใช้การเข้าถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลต่อไป

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
X	X	X	X	A2	A1	A0	R/$\overline{W}$

|←── บิตกำหนดแอดเดรสคงที่ ──→|←── บิตกำหนดแอดเดรสโปรแกรมได้ ──→|

รูปที่ 3.14 รูปแบบข้อมูลในการอ้างแอดเดรส

- **การเข้าถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)**

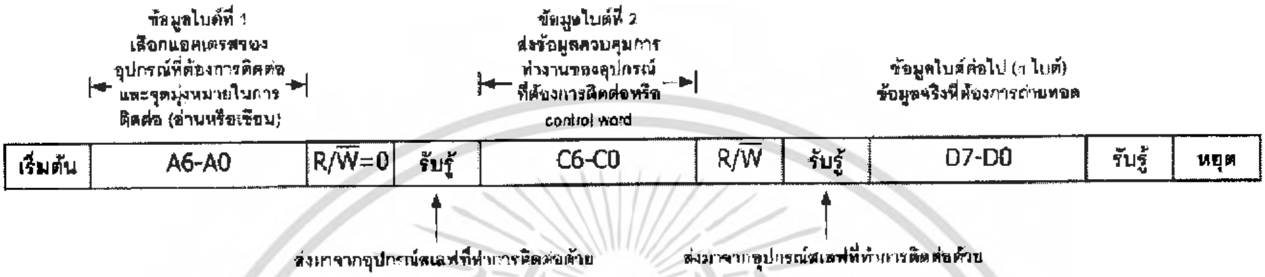
ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะเริ่มต้น คือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 3.15 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็น บิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fixed address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในไบต์ต่อมา คือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นอินพุต บิตใดเป็นเอาท์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (data)

หลังจากถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง

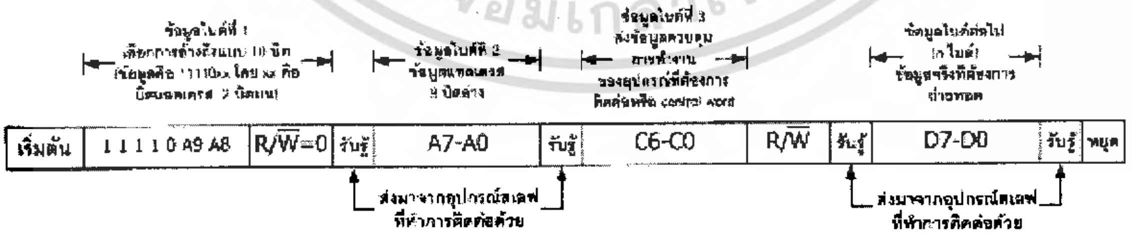


รูปที่ 3.15 รูปแบบข้อมูลในการเข้าถึงแบบ 7 บิต

- **การเข้าถึงแบบ 10 บิต**

จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในไบต์แรกหลังจากเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ

เช่นเดียวกับการเข้าถึงแบบ 7 บิต หลังจากถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ต้องมีสภาวะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้



รูปที่ 3.16 รูปแบบข้อมูลในการเข้าถึงแบบ 10 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.3 พอร์ตอนุกรม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex) 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึง วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขา P3.0 ทำหน้าที่รับข้อมูล (RxD) และขา P3.1 ทำหน้าที่ส่งข้อมูล (TxD) โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้วโดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

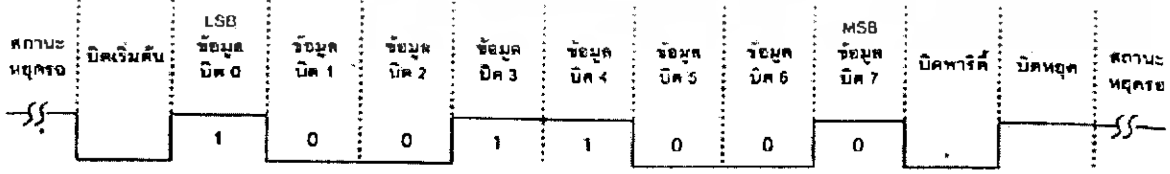
3.8.3.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือ บอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต

รูปที่ 3.17 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี้ (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้าย หรือ บิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว



รูปที่ 3.17 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่าตั้งแต่ 110 ถึง 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอด คือ ค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd), แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมพาริตี้ว่ามีจำนวนเป็นเลขคี่หรือคู่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 1001001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคู่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคี่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้เป็นคี่

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม) ซึ่งทางภาครับต้องกำหนดการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้เป็นตัวเลขคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้เป็น NONE นั้นทั้งภาครับและส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

3.8.3.2 โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 แบบ คือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟต์รีจิสเตอร์
2. โหมด 1 เป็นการกำหนดให้ UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้
3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้ UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่
4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้ UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

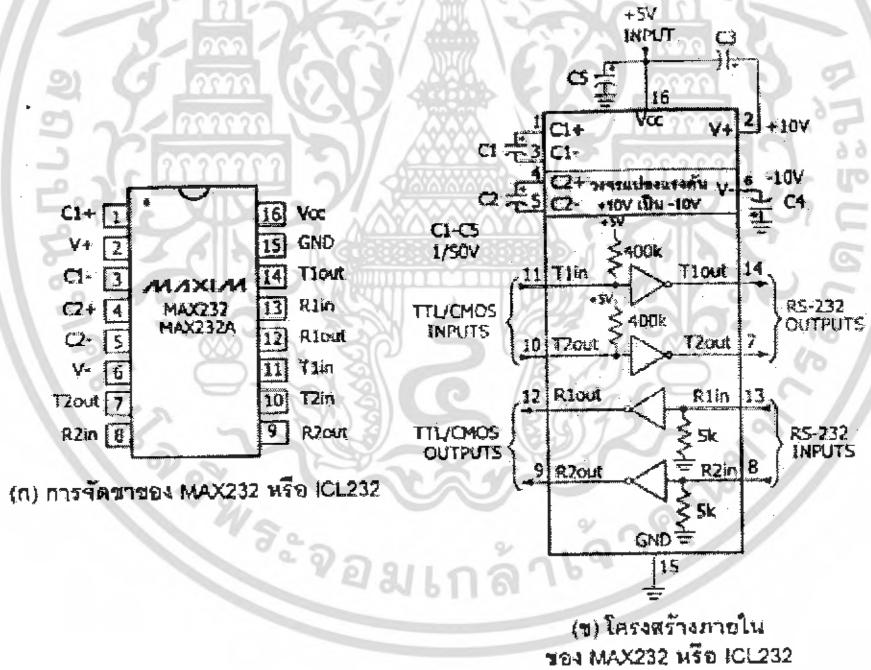
การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.3.3 การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

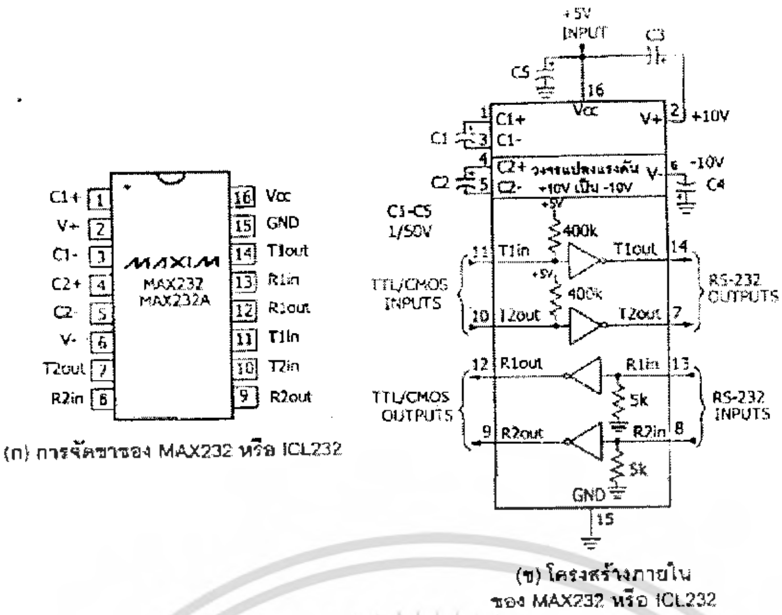
การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีระดับตั้งแต่ ±3 *V* ถึง ±12 *V* ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อยู่ในระดับทีทีแอล ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อต่อพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณ

ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณนี้ต้องทำการแปลงข้อมูลส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จากระดับทีทีแอลไปเป็นระดับของ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลรับจากคอมพิวเตอร์จากระดับของ RS-232 เป็นระดับทีทีแอลเพื่อให้สามารถถ่ายทอดข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลลเลอร์ MCS-51 ได้อย่างสมบูรณ์ ไอซีดังกล่าวมีด้วยกันหลายเบอร์จากหลายผู้ผลิต อาทิ MAX232 จาก MAXIM หรือ ICL232 จาก HARRIS เป็นต้น ในรูปที่ 3.18 แสดงการจัดขาของไอซี ICL232 ซึ่งใช้ในการแปลงสัญญาณ RS-232 ส่วนวงจรของการต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 รายละเอียดเบื้องต้นของไอซีแปลงสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 วงจรเชื่อมต่อ MAX 232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

3.9 วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์ (Matrix Switch)

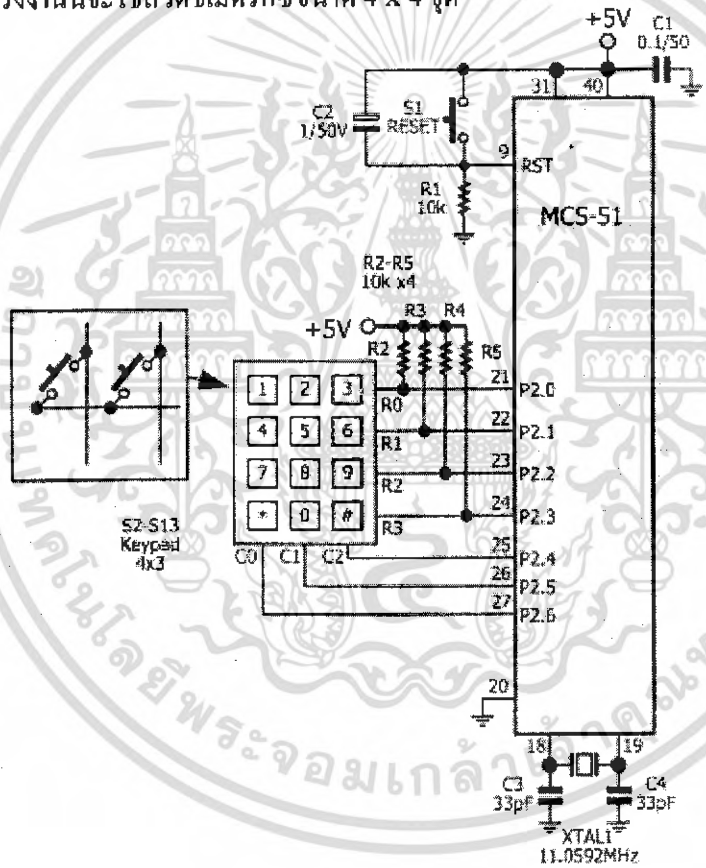
การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตช์เป็นอีกงานหนึ่งที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสามารถรองรับและเชื่อมต่อใช้งานร่วมได้ด้วย และวงจรสวิตช์ที่นิยมใช้มากคือ **วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์ (Matrix Switch)** ดังแสดงในรูปที่ 3.20 สวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแกนนอน จะเรียกแนวตั้งว่า *หลักหรือคอลัมน์ (Column)* ในขณะที่แนวนอนจะเรียกว่า *แถวหรือโรว์ (Row)* ดังนั้น ค่าของสวิตช์จะต้องประกอบด้วยตำแหน่งในแนวหลักและแถว กระบวนการที่จะทำให้ได้มาซึ่งค่าของสวิตช์มีขั้นตอนซับซ้อนพอสมควร แต่วงจรสวิตช์แบบนี้มีข้อดี คือ สามารถรองรับการเพิ่มของสวิตช์ได้อย่างสะดวก เพียงเพิ่มเติมจำนวนสวิตช์และแก้ไขซอฟต์แวร์อีกเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้วงจรสวิตช์เมตริกซ์เป็นที่นิยมใช้มากในระบบควบคุมอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติที่มีจำนวนสวิตช์มากกว่า 8 ตัว ในการใช้งานทั่วไปจะเรียกสวิตช์แบบเมตริกซ์นี้ว่า **คีย์แพด (Keypad)**

รูปที่ 3.20 วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการเชื่อมต่อสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4 x 3 จุด กับไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงในรูปที่ 3.21 โดยใช้พอร์ต 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อเข้ากับสวิตช์เมตริกซ์ทั้ง 7 เส้น คือ สายของคอลัมน์ 3 สาย (C0-C2) และสายของโรว์หรือแถวอีก 4 สาย (R0-R3) โดยเฉพาะที่ขาพอร์ต P2.0-P2.3 จะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปไว้เพื่อกำหนดสภาวะเริ่มต้นที่ไม่มีการกดคีย์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูล “0” ไปยัง P2.6, P2.5 และ P2.4 ตามลำดับ ในทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลไปยังสายหลักหรือคอลัมน์ของสวิตช์เมตริกซ์นั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะอ่านค่าที่ขาพอร์ต P2.0-P2.3 เข้ามาด้วย หากไม่มีการกด ค่าของ P2.0-P2.3 จะเป็น “1” ทั้งหมด แต่ถ้าหากมีการกดคีย์ ค่าของ P2.0-P2.3 ก็จะไม่เป็น 1111 อีกต่อไป เป็นการแจ้งให้ทราบว่ามีการกดสวิตช์เมตริกซ์ขึ้นแล้ว จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการค้นหาตำแหน่งต่อไป จากนั้นก็จะนำค่าตำแหน่งนั้นไปเปิดตารางข้อมูลเพื่อที่จะได้หมายเลขของคีย์ที่กดอย่างแท้จริง

ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้สวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4 x 4 จุด



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการเชื่อมต่อสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4 x 3 จุดกับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 จอแสดงผล (Liquid Crystal Display Module)

โมดูล LCD เป็นอุปกรณ์แสดงผลแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการใช้งานสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำมาเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในโครงงานนี้ใช้โมดูล LCD แบบตัวอักษรขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

ข้อมูลเบื้องต้นของโมดูล LCD

Vss (ขา 1) ต่อลงกราวด์

Vdd (ขา 2) ต่อไฟเลี้ยง +5V

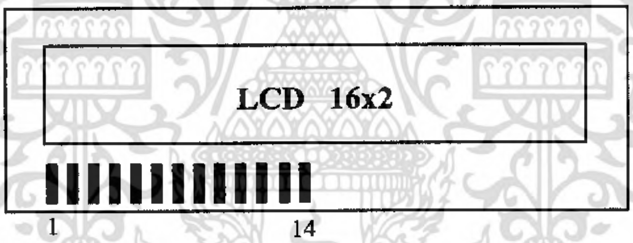
V0 (ขา 3) เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4) เป็นขาอินพุต ใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวณผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งหรือเป็นข้อมูล โดยถ้าเป็น "0" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง และถ้าเป็น "1" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลแสดงผล

R/W (ขา 5) เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น "0" เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา ๖) เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา7-14) เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกมีขนาด 8 บิต



รูปที่ 3.22 แสดงการจัดขาของโมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

3.11 ไอซีสร้างฐานเวลานาฬิกาจริง (#DS1307)

- เป็นไอซีรีลไทม์คล็อกให้ข้อมูลตั้งแต่วินาทีจนถึงปี รวมถึงการปรับวันในปีอธิกสุรทินด้วย สามารถให้ข้อมูลเวลาได้อย่างเที่ยงตรงถึงปีคริสตศักราช 2100
- มีหน่วยความจำนอนโวลาไทม์แรม 56 ไบต์อยู่ภายใน สามารถใช้เก็บข้อมูลทั่วไปได้
- มีวงจรตรวจจับไฟเลี้ยงต่ำหรือหายไปอย่างอัตโนมัติ และสามารถรักษาข้อมูลเวลาไว้ได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงไอซี

3.11.1 รายละเอียดขาต่อใช้งานของ DS1307

Vcc,GND (ขา 8,4) ต่อกับไฟเลี้ยง +5V

V_{BAT} (ขา 3) ใช้ต่อกับแบตเตอรี่ 3V

SDA,SCL (ขา 5,6) เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SQW OUT (ขา 7) มีสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมส่งออกมา โดยสามารถเลือกความถี่ได้ 1 Hz, 4.096 kHz, 8.192 kHz และ 32 kHz ในการใช้งานต้องต่อตัวต้านทาน 1k พูลอัปที่ขานี้ด้วย

X1,X2 (ขา 1,2) ต่อกับคริสตอลความถี่ 32.768 kHz

ไอซี DS1307 จัดการเชื่อมต่อในแบบบัสแบบ I^2C โดยทำงานเป็นอุปกรณ์สเลฟเสมอ ส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ วงจรออสซิลเลเตอร์ เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างข้อมูลเวลาจริง มีการเก็บค่าของเวลาไว้ในหน่วยความจำนอนโวลาไทม์แรม 64 ไบต์ ซึ่งจัดสรรให้ใช้เก็บข้อมูลเวลา 8 ไบต์ และเก็บข้อมูลทั่วไป 56 ไบต์ วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าจะคอยตรวจสอบสภาวะของไฟเลี้ยงไอซี หากต่ำกว่า $1.25 \times V_{BAT}$ ก็จะควบคุมให้ DS1307 หยุดการทำงาน ทำให้ไม่สามารถติดต่อกับ DS1307 ได้ ดังนั้นในการใช้งานต้องระมัดระวังอย่าให้ไฟเลี้ยงต่ำกว่า $1.25 \times V_{BAT}$ หรือประมาณ 3.75 โวลต์ หากไฟเลี้ยงมีค่าต่ำกว่า V_{BAT} ไอซี DS1307 จะเข้าสู่โหมดสำรองข้อมูลกระแสต่ำทันที แต่วงจรสร้างฐานเวลายังคงทำงานเพื่อให้ค่าของเวลาเดินไปอย่างไม่ผิดพลาด เมื่อมีไฟเลี้ยงปรากฏขึ้นอีกครั้ง DS1307 ก็จะสามารถให้ค่าของเวลาที่เป็นจริงแก่ผู้ใช้งานได้ต่อไป

3.11.2 การจัดสรรหน่วยความจำใน DS1307

การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำภายใน DS1307 ประกอบด้วย พื้นที่ 7 ไบต์แรกตั้งแต่แอดเดรส \$00 - \$06 เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ค่าเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเวลา ที่แอดเดรส \$07 เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของ DS1307

3.11.3 รีจิสเตอร์ควบคุม

มีแอดเดรสอยู่ที่ \$07 มีรายละเอียดของแต่ละบิตดังนี้

OUT (Output control): ใช้ควบคุมระดับลอจิกที่ขา *SQW OUT* ในกรณีที่ดิสเอเบิลการกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโดยถ้าบิตนี้เป็น “1” ที่ขา *SQW OUT* ก็จะเป็น “1” ถ้าบิตนี้เป็น “0” ที่ขา *SQW OUT* ก็จะเป็น “0”

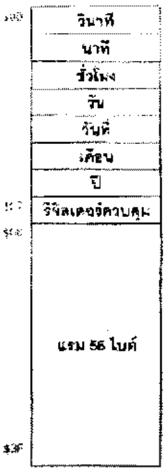
SQWE (Square Wave Enable): ใช้เอ็นเอเบิลวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ขา *SQW OUT* ถ้าต้องการให้มีสัญญาณสี่เหลี่ยมออกให้กำหนดบิตนี้เป็น “1”

RS1 , RS0 (Rate Select) : ใช้เลือกความถี่ของสัญญาณที่ออกจากขา *SQW/OUT*

โดย

RS1	RS0	ค่าความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยม
0	0	1 Hz
0	1	4.096 kHz
1	0	8.192 kHz
1	1	32.768 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0	ค่าของข้อมูล
CH	ข้อมูลวินาที (หลักสิบ)			ข้อมูลวินาที (หลักหน่วย)				00-59
x	ข้อมูลนาที (หลักสิบ)			ข้อมูลนาที (หลักหน่วย)				00-59
x	12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง	ชั่วโมง (หลักสิบ) [illegible]	ข้อมูลชั่วโมง (หลักสิบ)	ข้อมูลชั่วโมง (หลักหน่วย)				01-12 00-23
x	x	x	x	x	ข้อมูลวันในสัปดาห์			1-7
x	x	ข้อมูลวันที่ (หลักสิบ)		ข้อมูลวันที่ (หลักหน่วย)				01-28/29 01-30 01-31
x	x	x	ข้อมูลเดือน (หลักสิบ)	ข้อมูลเดือน (หลักหน่วย)				01-12
ข้อมูลปี (หลักสิบ)				ข้อมูลปี (หลักหน่วย)				00-99
OUT	x	x	SQWE	x	x	RS1	RS0	

(ก) (ข)

รูปที่ 3.23 แสดงหน่วยความจำภายใน DS1307
(ก) การจัดสรรหน่วยความจำแรมภายใน DS1307
(ข) รายละเอียดของรีจิสเตอร์เก็บค่าเวลาและ
รีจิสเตอร์ควบคุมของ DS1307

3.11.4 โหมดการทำงานของ DS1307

มี 2 โหมด คือ โหมดเขียนข้อมูล และ โหมดอ่านข้อมูล ในการใช้งานปกติจะใช้โหมดอ่านข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับ DS1307 เพื่ออ่านข้อมูลของเวลาไปใช้งาน โหมดการเขียนข้อมูลจะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อต้องการตั้งค่าเวลาใหม่และต้องการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำใช้งานทั่วไป อย่างไรก็ตามเมื่อเริ่มต้นติดต่อกับ DS1307 จำเป็นอย่างยิ่งที่จะเข้าสู่โหมดการเขียนข้อมูลก่อนกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านข้อมูล จากนั้นจึงเปลี่ยนโหมดการทำงานมาเป็นโหมดการอ่านข้อมูลต่อไป

โหมดการเขียนข้อมูล

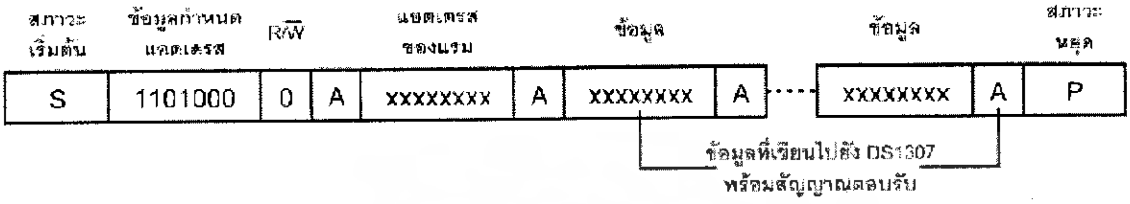
เริ่มต้นเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการกำหนดสภาวะเริ่มต้น (START : S) จากนั้นส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส 1101000 ตามด้วยข้อมูลเลือกการเขียน นั่นคือค่า 0 จากนั้นจะรอการตอบรับจาก DS1307 ขั้นตอนต่อมาคือ ส่งข้อมูลเพื่อเลือกแอดเดรสที่ต้องการเขียน จากนั้นรอการตอบรับจาก DS1307 เมื่อมีการตอบรับมาเรียบร้อย ก็เริ่มทยอยเขียนข้อมูลลงไปครั้งละแอดเดรส หลังจากเขียนข้อมูลในแต่ละแอดเดรส จะต้องหยุดรอการตอบรับจาก DS1307 ทุกครั้ง จึงจะสามารถเขียนข้อมูลต่อไปได้ เมื่อเขียนเรียบร้อยแล้วให้ส่งสภาวะหยุด (STOP : P) เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการเขียนข้อมูล

โหมดการอ่านข้อมูล

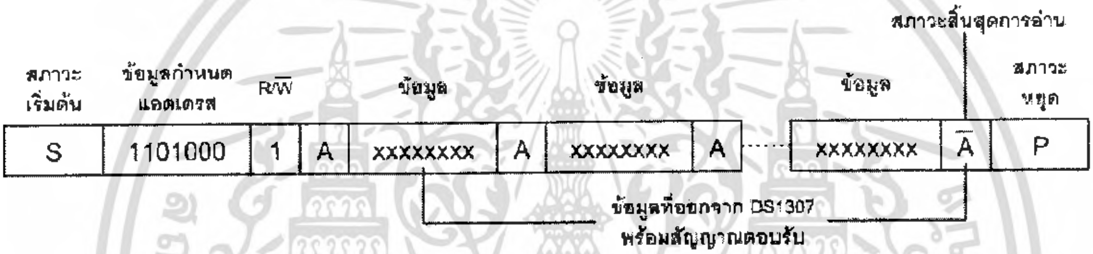
เริ่มต้นการทำงานเหมือนกับโหมดการเขียนข้อมูลคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์กำหนดสภาวะเริ่มต้นแล้วส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส ตามด้วยข้อมูลเลือกการอ่าน ซึ่งเท่ากับ 1 จากนั้นรอการตอบรับจาก DS1307 เมื่อตอบรับเรียบร้อย DS1307 จะทยอยส่งข้อมูลออกมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คราวละ 1 แอดเดรสหรือ 1 ไบต์ โดยแอดเดรสที่เลือกอ่านข้อมูลจะต้องมีการกำหนดมาก่อนล่วงหน้าด้วยโหมดการเขียนข้อมูล วิธีการง่าย ๆ คือ เข้าสู่โหมดการเขียนข้อมูลก่อน เมื่อถึงจังหวะที่ต้องเขียนข้อมูล ให้ทำการสร้างสภาวะเริ่มต้นและส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสใหม่อีกครั้ง ตามด้วยเลือกโหมดการอ่านข้อมูล ข้อมูที่ออกมาจาก DS1307 ก็จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 3.24 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS1307 ในโหมดการเขียนข้อมูล



รูปที่ 3.25 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS1307 ในโหมดการอ่านข้อมูล

<u>ส่วนของซอฟท์แวร์ (Software)</u>

3.12 ดาต้าล็อกเกอร์ (Data Logger)

ดาต้าล็อกเกอร์ (Data logger) คือ โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ในงานการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ไว้เป็นฐานข้อมูลในการอ้างอิงถึง โดยที่ตัวของดาต้าล็อกเกอร์ นั้นมีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ไว้ภายในตัวโปรแกรมของมันเอง เพื่อที่จะสามารถเรียกข้อมูลที่เก็บไว้นั้นนำมาแสดงผลอีกครั้งหนึ่งได้ และสามารถนำข้อมูลที่เก็บไว้นั้นนำมาประมวลผลต่าง ๆ ได้อีกด้วย โดยที่ภายในโครงงานนี้ได้นำดาต้าล็อกเกอร์ มาเก็บข้อมูลของสายทองแดงที่ทำการวัดไว้แล้วมาแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยที่โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม(RS-232) โดยที่จะนำข้อมูลที่วัดได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาเก็บไว้ในฐานข้อมูลของดาต้าล็อกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

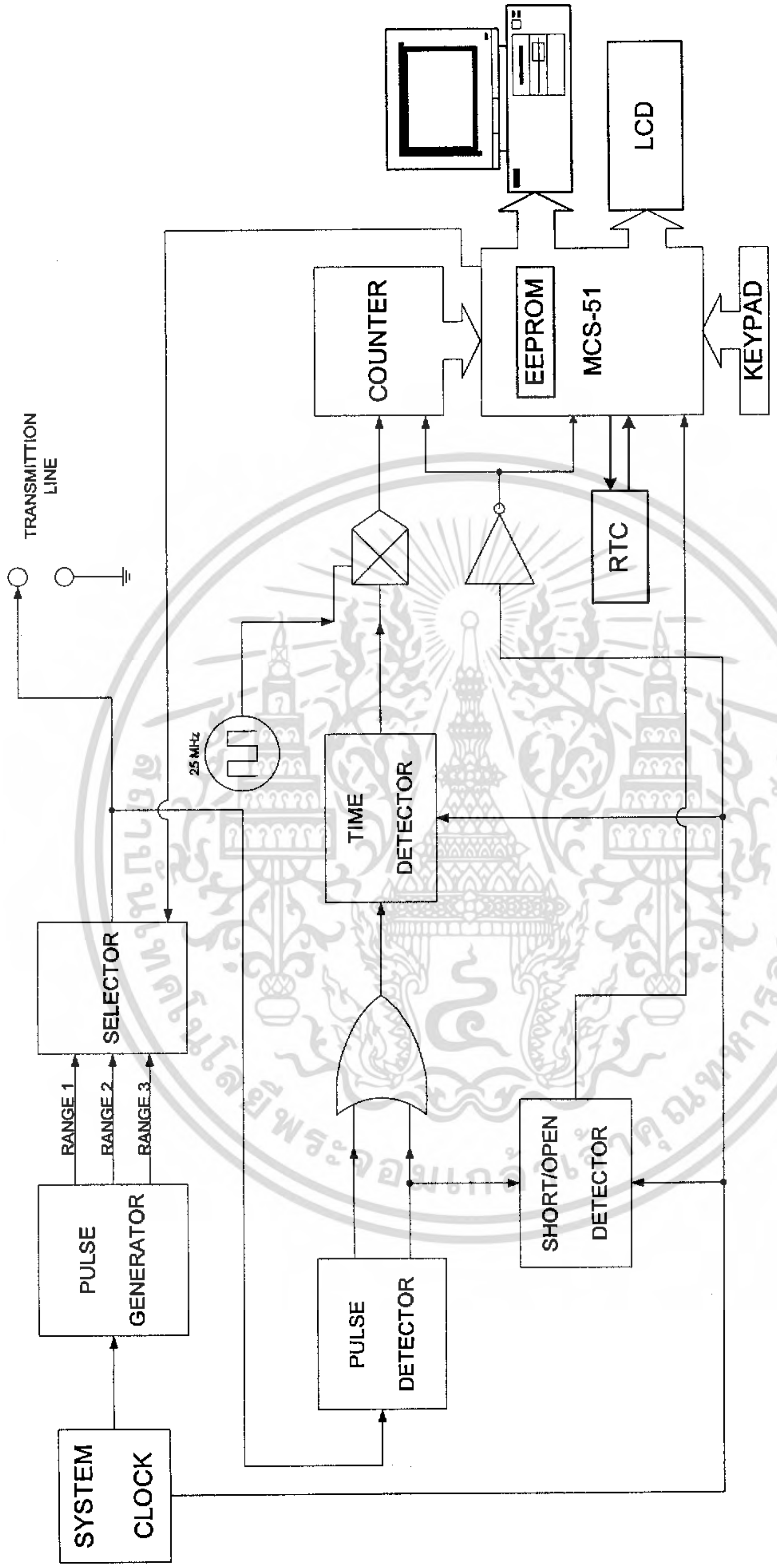
ในส่วนของซอฟต์แวร์ ภายในโครงงานนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมเดลไฟล์ (Delphi) ในการสร้างส่วนที่ทำการแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูล (Database) ที่ทำการเก็บข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์อีกด้วย

เดลไฟล์ คือ ซอฟท์แวร์ที่เรานำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแอพลิเคชัน (Application) โดยที่เดลไฟล์จัดเป็นเครื่องมือเขียนโปรแกรมชนิดวิชวลโปรแกรมมิง (Visual Programming) เช่นเดียวกับ visual basic หรือ visual C++ โดยมีข้อดีคือ สามารถเขียนโปรแกรมได้ง่าย และให้ผลงานออกมาเร็ว ขนาดไฟล์แอพลิเคชันที่สร้างโดยเดลไฟล์มีขนาดเล็ก ใช้ทรัพยากรของระบบน้อย และทำงานได้อย่างสมบูรณ์ในตัว โดยไม่ต้องมีไฟล์พิเศษอื่น ๆ เพิ่มเติม ดังนั้นจึงทำให้ความเร็วในการทำงานเพิ่มมากขึ้น และสามารถที่จะเขียนภาษาแอสเซมบลี (Assembly) เพื่อติดต่อกับฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยไม่ต้องอาศัยโปรแกรมอื่น ดังนั้นจึงจัดให้เดลไฟล์เป็นซอฟต์แวร์ประเภท RAD หรือ Rapid Application Development ซึ่งหมายถึง สร้างแอพลิเคชันได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ความสามารถของเดลไฟล์นั้นมีมากมาย เช่น สร้างแอพลิเคชันสำหรับ window สร้างระบบงานฐานข้อมูล (โดยในโครงงานนี้จะใช้ความสามารถนี้) สร้างแอพลิเคชันรองรับ .NET Web Service เป็นต้น

ออบเจกปาสคาล (Object Pascal) เป็นภาษาที่ใช้เขียนกับเดลไฟล์เพื่อส่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานต่าง ๆ ตามที่เราต้องการ ออบเจกปาสคาลแลเดลไฟล์มีคำและกฎเกณฑ์ในการเขียนเหมือนกันทุกประการ แต่จะมีวิธีการเขียนที่แตกต่างกัน คือ ออบเจกปาสคาลใช้วิธีการเขียนโปรแกรมด้วยอักษรและเครื่องหมาย แต่เดลไฟล์ใช้วิธีเขียนแบบวิชวล (Visual) ซึ่งวิธีการของเดลไฟล์จะทำให้เราสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่าย และรวดเร็วกว่า

เดลไฟล์จะเป็นวิชวลโปรแกรมมิง (Visual Programming) ซึ่งมีวิธีการเขียนโปรแกรมโดยการนำคอมโพเนนต์ (Component) ที่เราเห็นมาลงในฟอร์ม (Form) แล้วกำหนดหน้าที่ให้กับคอมโพเนนต์นั้น (Component) นั้น ในบางโปรแกรมนั้นจำเป็นต้องเขียนคำสั่งเพื่อใช้ควบคุมคอมโพเนนต์นั้นเพิ่มเติม โดยผลจากการคอมไฟล์ (Comply) จะได้ไฟล์ชนิด .EXE ซึ่งสามารถนำไปรัน (Run) ที่คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นได้อย่างอิสระ โดยไม่จำเป็นต้องมีโปรแกรมเดลไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 บล็อกไดอะแกรมรวมของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

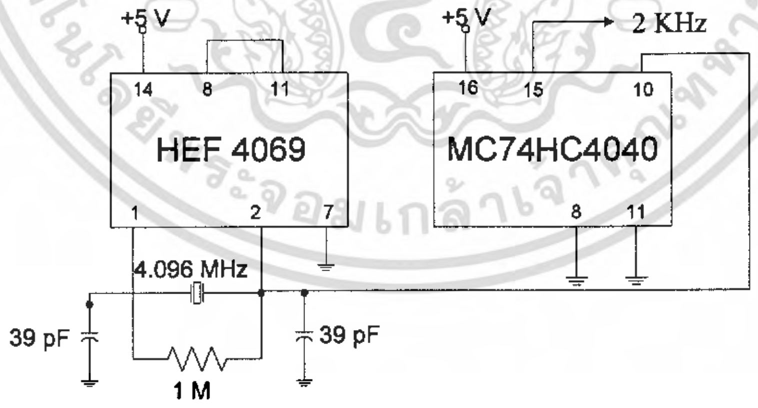
4.1 การออกแบบวงจร

วงจรจะแบ่งเป็น

1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#4069,#74HC4040 / #74HC221)
2) วงจรเลือกสัญญาณ (#74HC151)
3) วงจรตรวจจับสัญญาณ (#UA710)
4) วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32)
5) วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74)
6) วงจรคูณสัญญาณ (#74LS08,Oscillator 25 MHz)
7) วงจรนับ (#74HC393)
8) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89S8252)
9) คีย์แพดและจอแสดงผล

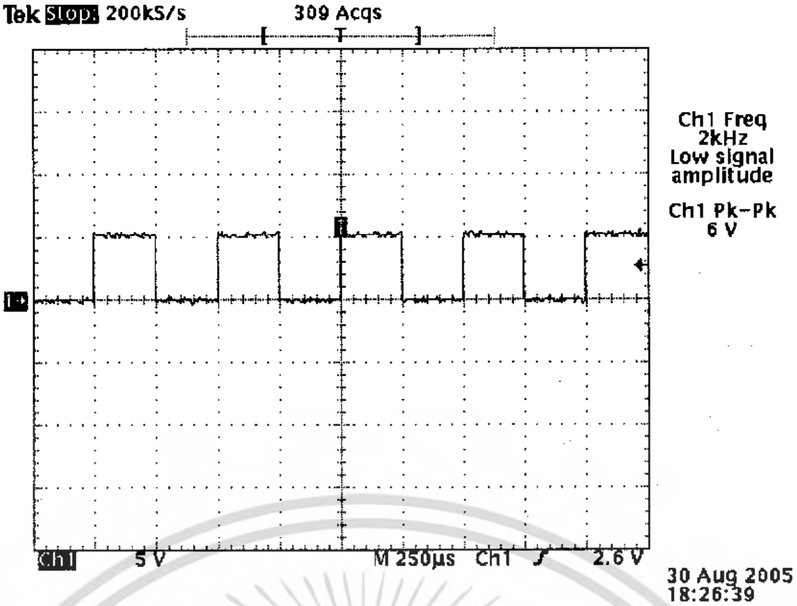
4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

ในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้จะต้องใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz มาเป็นตัวควบคุมจังหวะการเกิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งเราใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ความถี่ 4.096 MHz และ IC #HEF4069 ร่วมกับ IC #MC74HC4040 มาเป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz ดังรูป



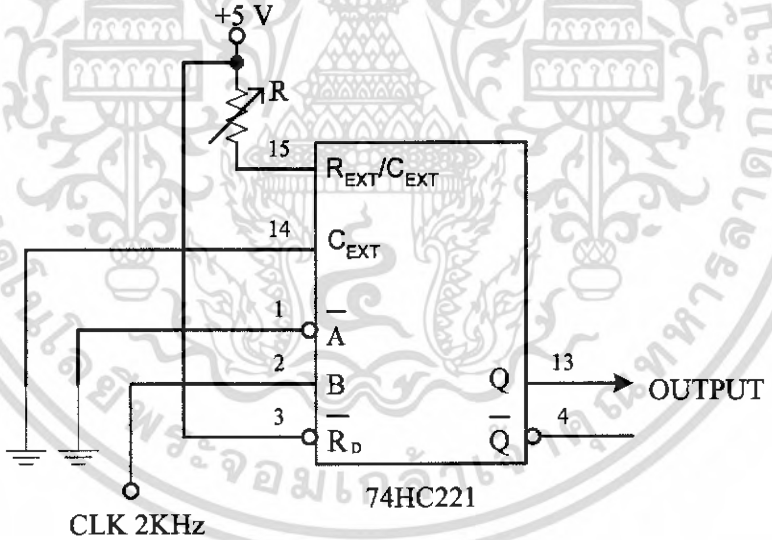
รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz

และส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้จะใช้ IC #74HC221 โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz ควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต



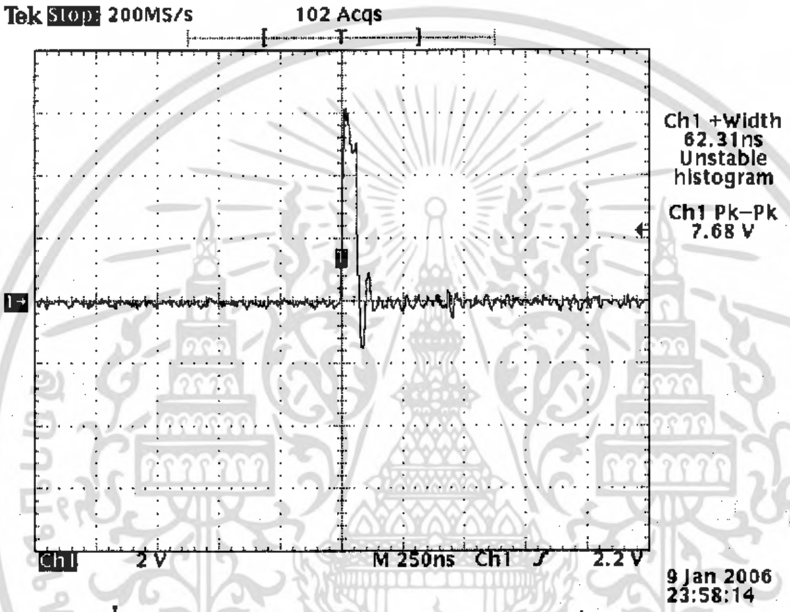
รูปที่ 4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

หลังจากทำการออกแบบวงจรแล้ว ทำการปรับเปลี่ยนค่า R เพื่อให้ได้ค่าความกว้างของพัลส์ต่างๆ ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังนี้

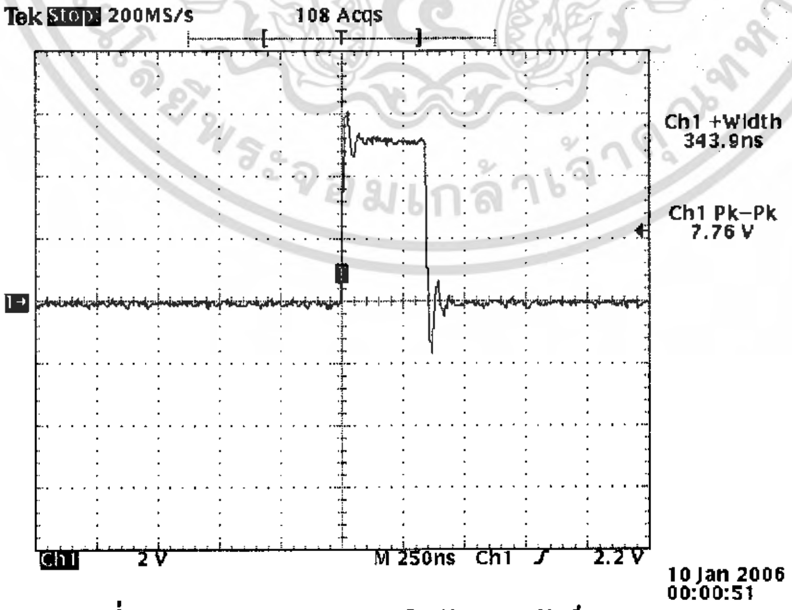
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pulse Width	R
60 nsec	2 K
340 nsec	20 K
830 nsec	68 K

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า R กับ Pulse Width ทั้ง 3 ย่าน ในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

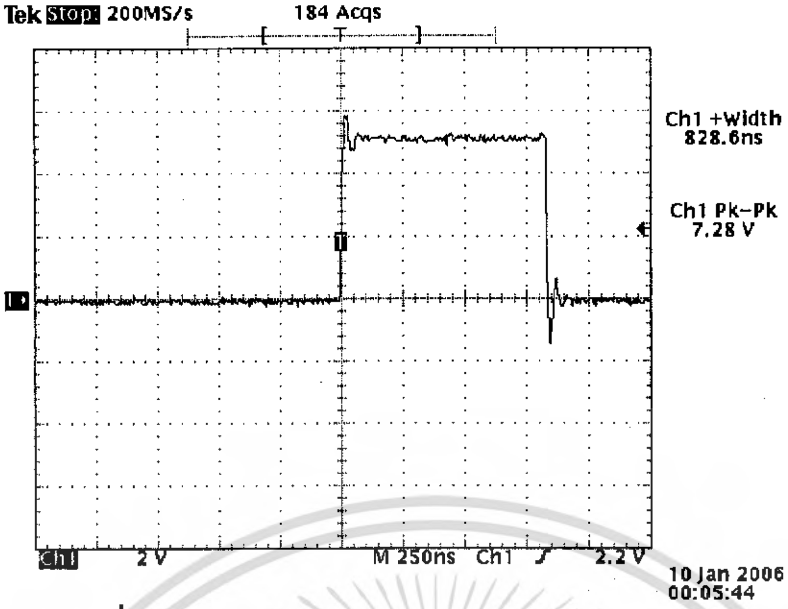


รูปที่ 4.4 สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (60 nsec)



รูปที่ 4.5 สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (340 nsec)

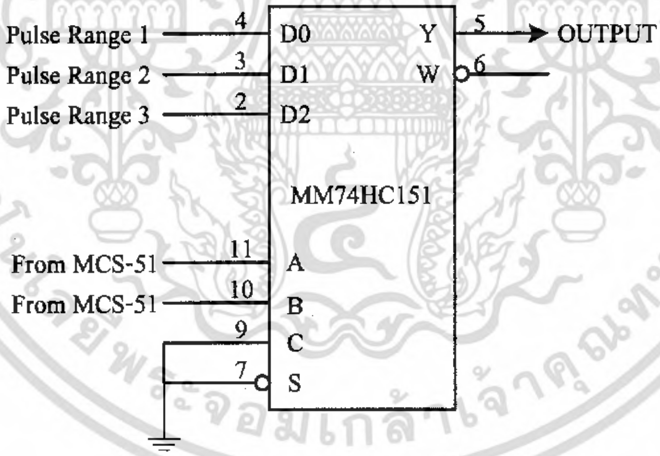
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (830 nsec)

4.1.2 วงจรเลือกสัญญาณ

จะใช้ IC #74HC151 โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่เลือกสัญญาณพัลส์ที่จะส่งไปยังวงจรตรวจจับสัญญาณ ซึ่งจะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์



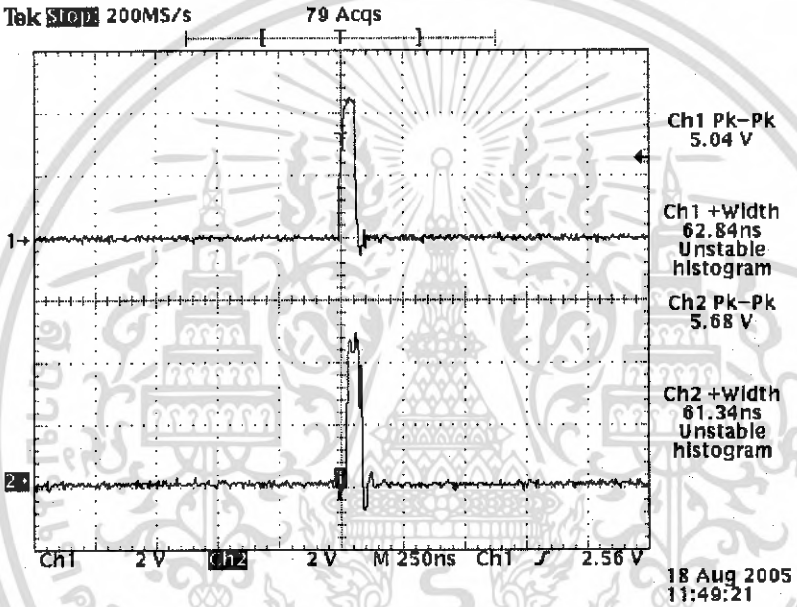
รูปที่ 4.7 วงจรเลือกสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณเอาต์พุตของ IC #74HC151 กำหนดได้ตามตารางที่ 4.2

A	B	Output
0	0	D0
1	0	D1
0	1	D2

ตารางที่ 4.2 Truth Table ของ IC #74HC151



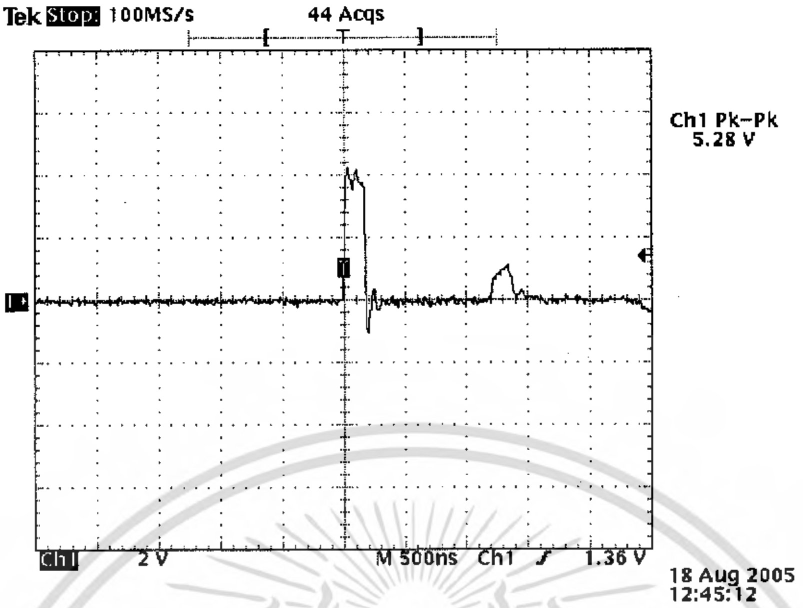
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างสัญญาณจากวงจรเลือกสัญญาณเมื่อ A=0 , B=0

โดย CH1 คือ สัญญาณพัลส์ 60 ns

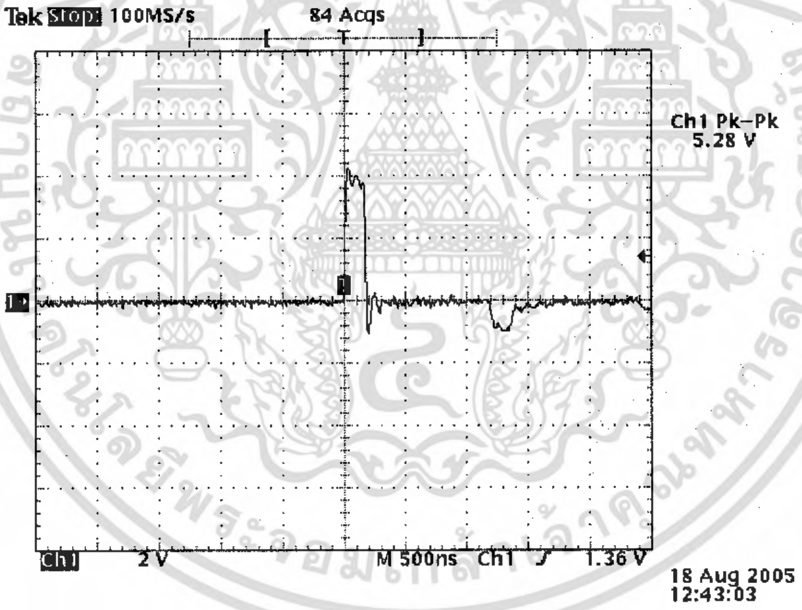
CH2 คือ สัญญาณเอาท์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการส่งสัญญาณพัลส์เข้าไปในสายทดสอบจะได้ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 4.9 สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปและสะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบเปิด

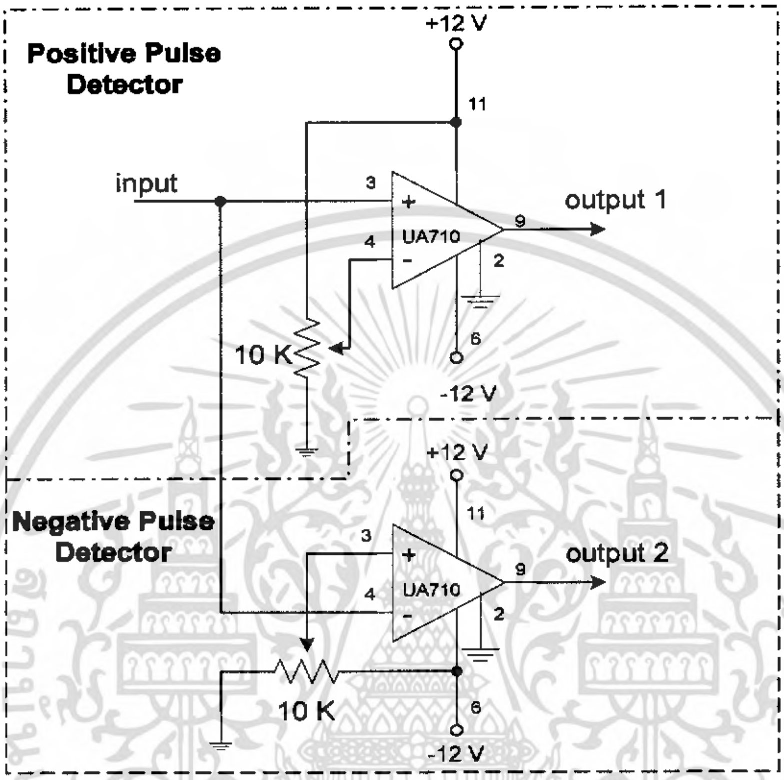


รูปที่ 4.10 สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปและสะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ

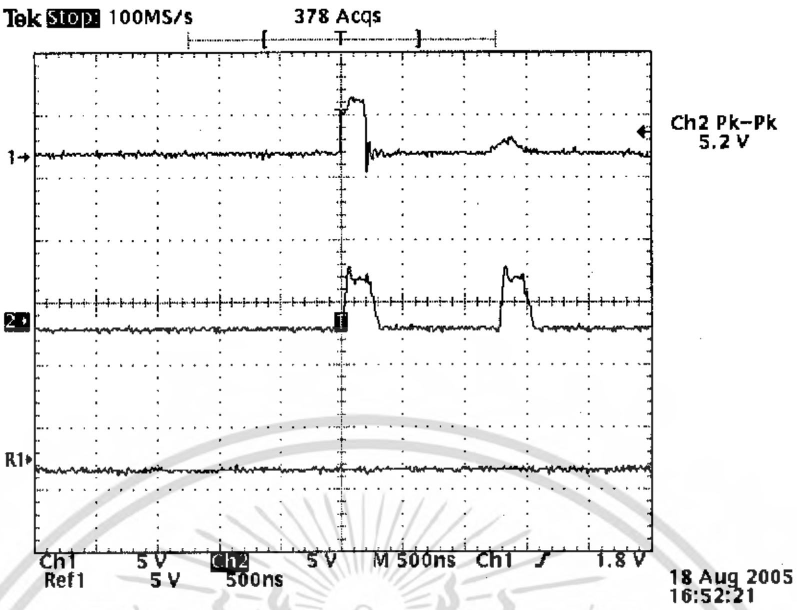
การทำงานของวงจรในส่วนนี้จะใช้ OP – AMP เบอร์ UA710 ซึ่งจะทำงานในลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) ซึ่งจะแบ่งออกเป็นวงจรตรวจจับพัลส์บวก (Positive Pulse Detector) และ วงจรตรวจจับพัลส์ลบ (Negative Pulse Detector)



รูปที่ 4.11 วงจรตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

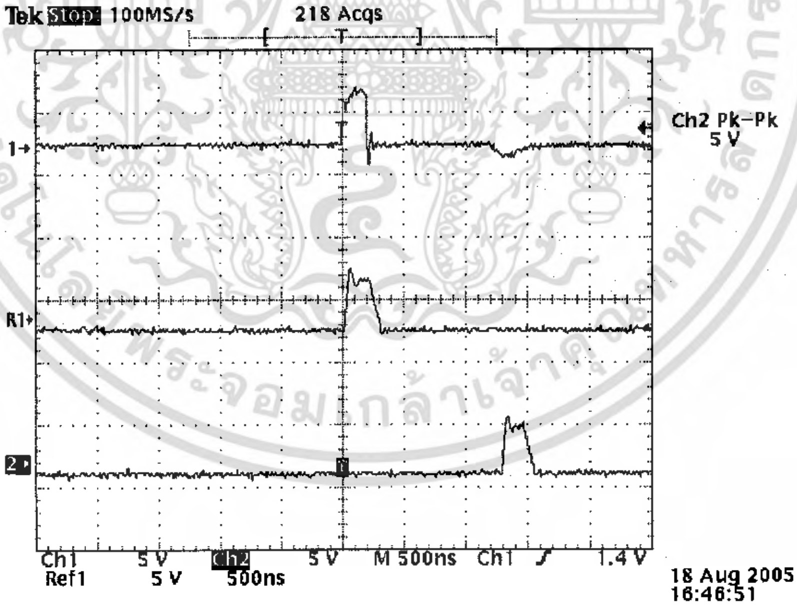
เมื่อเราทำการปรับแต่งและทำการทดลองโดยการส่งสัญญาณเข้าไปในสายจะได้ผลการทดลอง ดังรูป



รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต เมื่อทำการเปิดปลายสาย

โดย CH2 คือ สัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์บวก

R1 คือ สัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์ลบ



รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต เมื่อทำการลัดวงจรที่ปลายสาย

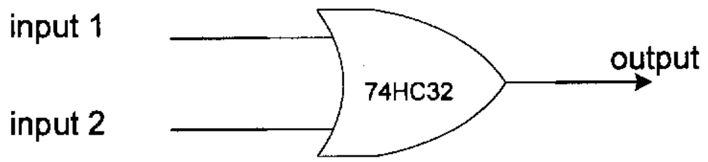
โดย R1 คือ สัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์บวก

CH2 คือ สัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์ลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

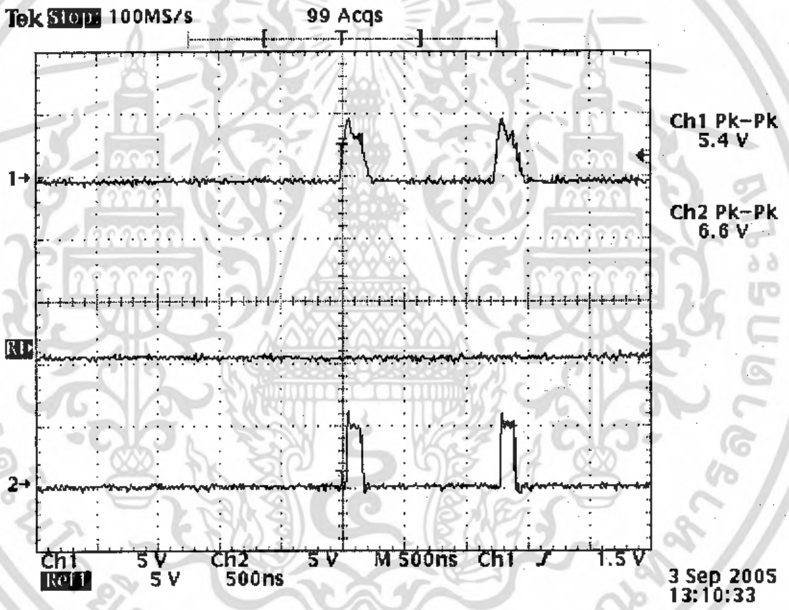
4.1.4 วงจรรวมสัญญาณ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่การรวมสัญญาณโดยจะใช้ IC#74HC32 ซึ่งภายในจะเป็น OR – Gate ดังรูป



รูปที่ 4.14 วงจรรวมสัญญาณ

เมื่อนำสัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์บวกและตรวจจับพัลส์ลบมาเข้าวงจรรวมสัญญาณแล้วจะได้ผลการทดลองดังรูป



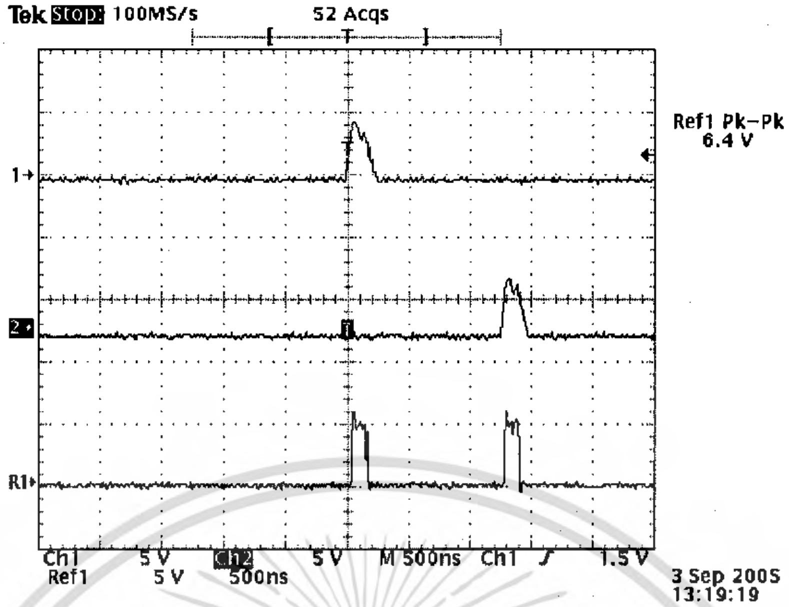
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต เมื่อทำการเปิดปลายสาย

โดย CH1 คือ สัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์บวก

R1 คือ สัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์ลบ

CH2 คือ สัญญาณจากวงจรรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต เมื่อทำการลัดวงจรที่ปลายสาย

โดย CH1 คือ สัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์บวก

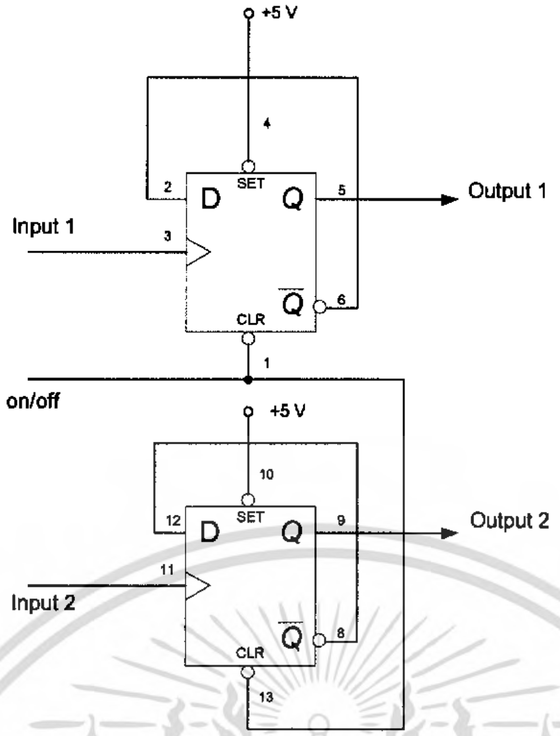
CH2 คือ สัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์ลบ

R2 คือ สัญญาณจากวงจรรวมสัญญาณ

4.1.5 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

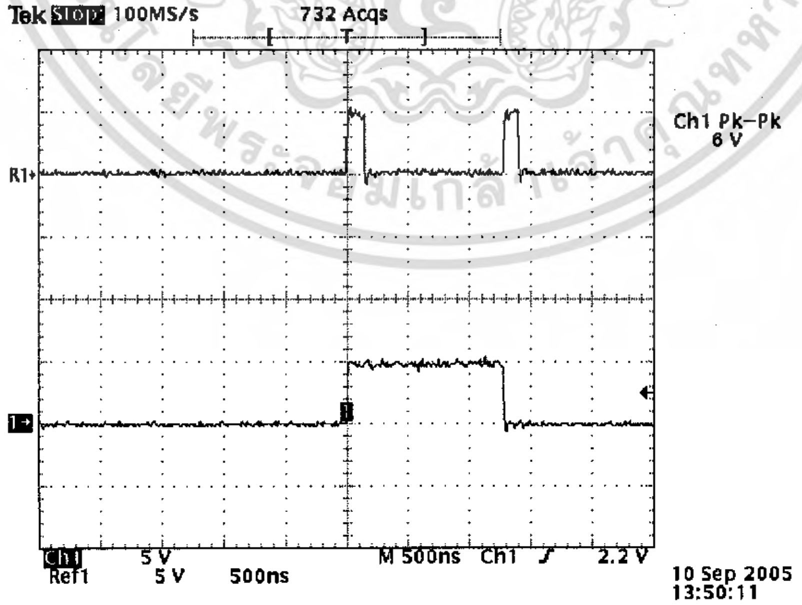
วงจรนี้จะเป็นวงจรตรวจจับเวลาที่คลื่นใช้เดินทางไปและกลับในวงจรนี้จะใช้ IC #74HC74 ซึ่งเป็น D – Flip Flop ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดย D – Flip Flop 1 จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์ 2 ลูกจากวงจรรวมสัญญาณให้กลายเป็นสัญญาณพัลส์ลูกเดียว เพื่อที่จะส่งไปวงจรคูณสัญญาณต่อไป ส่วน D – Flip Flop 2 จะทำหน้าที่ตรวจสอบการชำรุดในกรณีปลายสายลัดวงจรเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

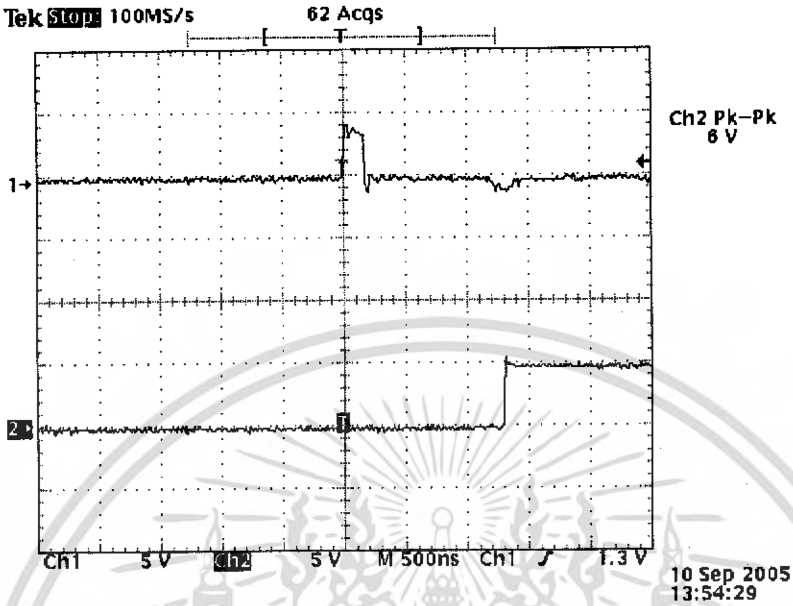
D – Flip Flop 1 จะรับเอาต์พุตจากภาครวมสัญญาณโดยตรง เพื่อทำการแปลงสัญญาณพัลส์ ดังนั้นไม่ว่าจะทำการลัดวงจรหรือเปิดปลายสายทดสอบจะมีสัญญาณพัลส์สองลูกวิ่งผ่านมายัง D – Flip Flop 1 เสมอ กล่าวคือ พัลส์ลูกแรกจะเป็นพัลส์ขาส่ง และพัลส์ลูกที่สองจะเป็นพัลส์ที่สะท้อนกลับมาจากสายส่ง ซึ่งอาจจะเกิดจากกรณี Short หรือ Open ก็ได้ แต่มันได้ถูกแปลงเป็นพัลส์บวกเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจะมีพัลส์สองลูกวิ่งเข้ามาอินพุตของ D – Flip Flop และได้เอาต์พุตเป็นพัลส์หนึ่งลูกที่มีความกว้างเท่ากับระยะห่างของพัลส์อินพุตทั้งสองลูก



รูปที่ 4.18 สัญญาณที่ได้จากวงจร D– Flip Flop 1 หรือวงจรตรวจจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน D – Flip Flop 2 จะรับอินพุตมาจากวงจรตรวจจับพัลส์ลบโดยตรง เพราะฉะนั้น D – Flip Flop 2 จะทำงานเมื่อมีการลัดวงจรปลายสายทดสอบเท่านั้น

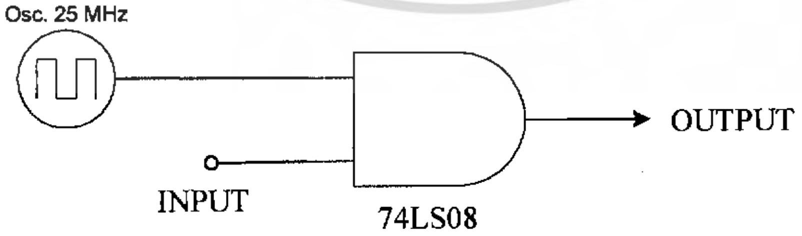


รูปที่ 4.19 สัญญาณที่ได้จากวงจร D – Flip Flop 2 หรือ วงจรตรวจสอบสถานะว่าสายเปิดหรือลัดวงจร

โดยสัญญาณที่ได้จากวงจร D – Flip Flop 2 นี้จะนำไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์อีกทีหนึ่ง

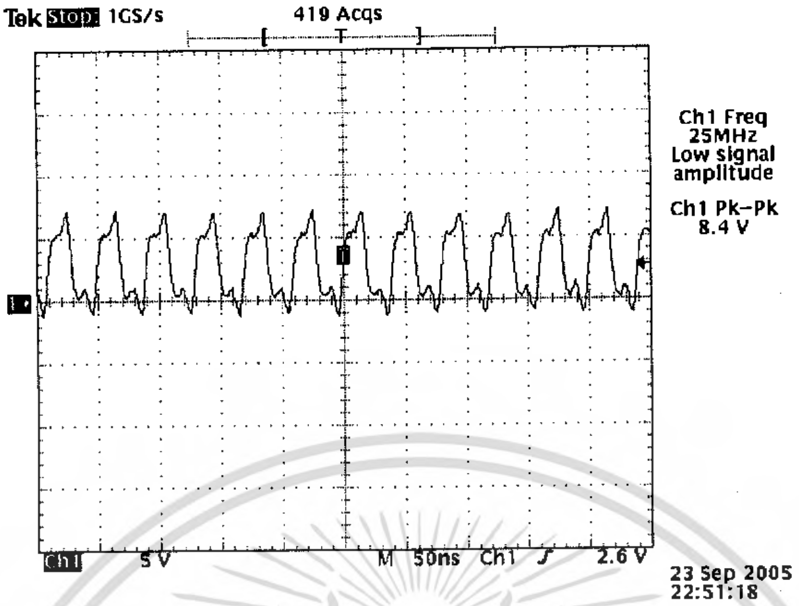
4.1.6 วงจรคูณสัญญาณ

การทำงานของวงจรนี้จะมีลักษณะเป็นการรับอินพุตเป็นพัลส์ที่มีความกว้างค่าหนึ่ง (ความกว้างเท่ากับระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับ) มาคูณกับพัลส์ที่มีความถี่สูงกว่า และได้เอาต์พุตเป็นลักษณะพัลส์อินพุตที่ถูกแบ่งเป็นลูกเล็ก ๆ เพื่อทำการป้อนให้กับวงจรนับต่อไป

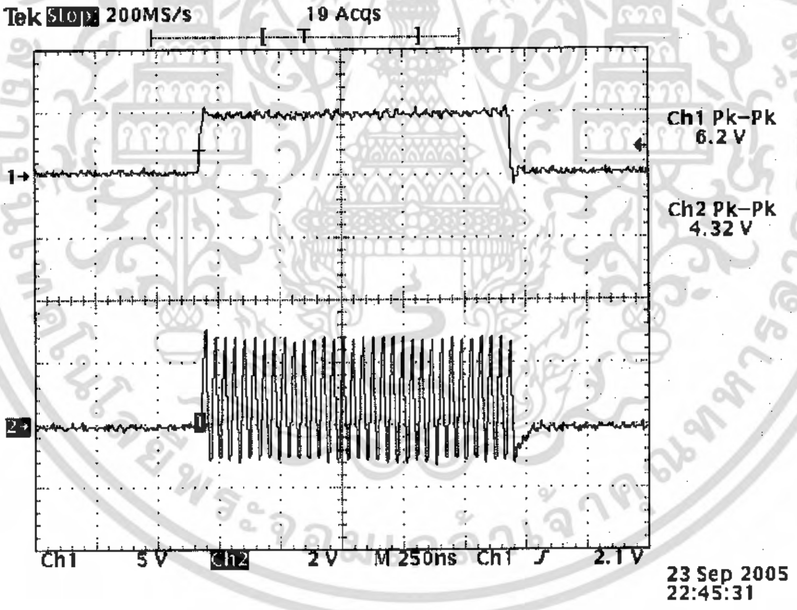


รูปที่ 4.20 วงจรคูณสัญญาณ และวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 25 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ความถี่ 25 MHz

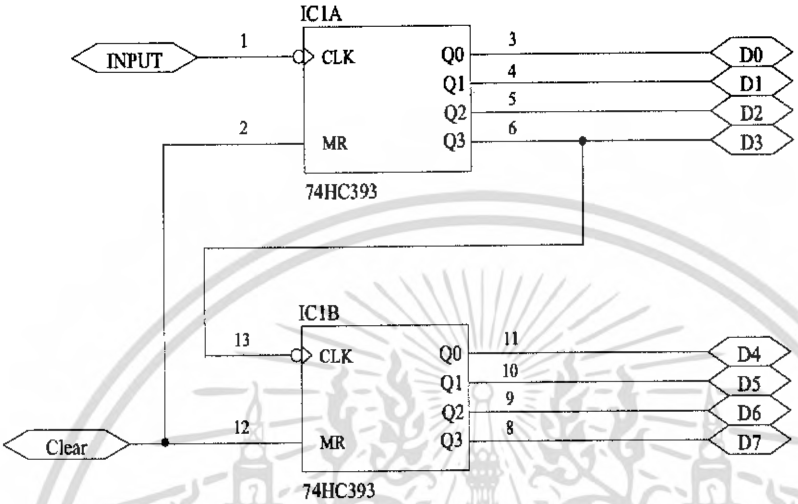


รูปที่ 4.22 สัญญาณจากวงจรคูณสัญญาณเทียบกับสัญญาณจาก D – Flip Flop 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 วงจรนับ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่นับพัลส์ลูกเล็ก ๆ ที่เกิดจากวงจรคูณ และจะนำค่าที่ได้ไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป โดยการนับจะต้องนับเฉพาะในช่วงที่มีพัลส์อินพุตเท่านั้น แล้วคงค่าที่นับไว้ เราจึงใช้สัญญาณนาฬิกา 2 kHz ที่ผ่านอินเวอร์เตอร์แล้วมาเป็น สัญญาณควบคุมการเคลียร์ของวงจรนับ



รูปที่ 4.23วงจรนับ

4.1.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ส่วนฮาร์ดแวร์
2) ส่วนซอฟแวร์

4.1.8.1 ส่วนฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ได้ทำการต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้ากับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนี้

พอร์ต 0 ต่อเข้ากับจอแสดงผล

พอร์ต 1 ต่อเข้ากับวงจรนับ

พอร์ต 2 ต่อเข้ากับคีย์แพด

พอร์ต 3.0 ต่อเข้ากับสัญญาณเลือก Range บิต 1

พอร์ต 3.1 ต่อเข้ากับสัญญาณเลือก Range บิต 0

พอร์ต 3.2-3.3 ต่อเข้ากับ DS1307

พอร์ต 3.4 ต่อเข้ากับสัญญาณเช็คว่าสายขาดหรือลัดวงจร

พอร์ต 3.5 ต่อเข้ากับสัญญาณที่ควบคุมวงจรนับ (สัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz ที่ผ่านอินเวอร์เตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8.2 ส่วนซอฟแวร์

ในส่วนนี้ได้เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์โดยใช้ภาษาซี ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานโดยสรุปดังนี้

เมื่อเริ่มเปิดสวิตช์ จอแสดงผลจะแสดงความพร้อมในการใช้งาน ถ้ามีการกดปุ่ม Enter เครื่องก็จะให้ผู้ใช้เลือกเมนูการใช้งานซึ่งมีอยู่ 3 เมนู คือ

- TEST LINE
- DATE & TIME
- DATA LOGGER

เมนู TEST LINE

- ถ้าผู้ใช้เลือกเมนู TEST LINE เครื่องจะให้เลือกความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่จะส่งเข้าไปในสาย โดยมีอยู่ 3 ค่า คือ 60 ns , 340 ns และ 830 ns
- เมื่อผู้ใช้เลือกความกว้างของสัญญาณพัลส์แล้ว เครื่องจะให้ผู้ใช้ใส่ค่า Velocity Factor ของสายนั้น
- เมื่อผู้ใช้ใส่ค่า Velocity Factor ของสายและกดปุ่ม Enter เครื่องจะทำการแสดงผลที่ได้ โดยจะบอกลักษณะการชำรุดและระยะที่เกิดการชำรุดของสายนั้น
- เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม Clear เครื่องจะถามว่าต้องการบันทึกข้อมูลหรือไม่ ถ้าต้องการให้กด Enter ถ้าไม่ต้องการให้กด Clear

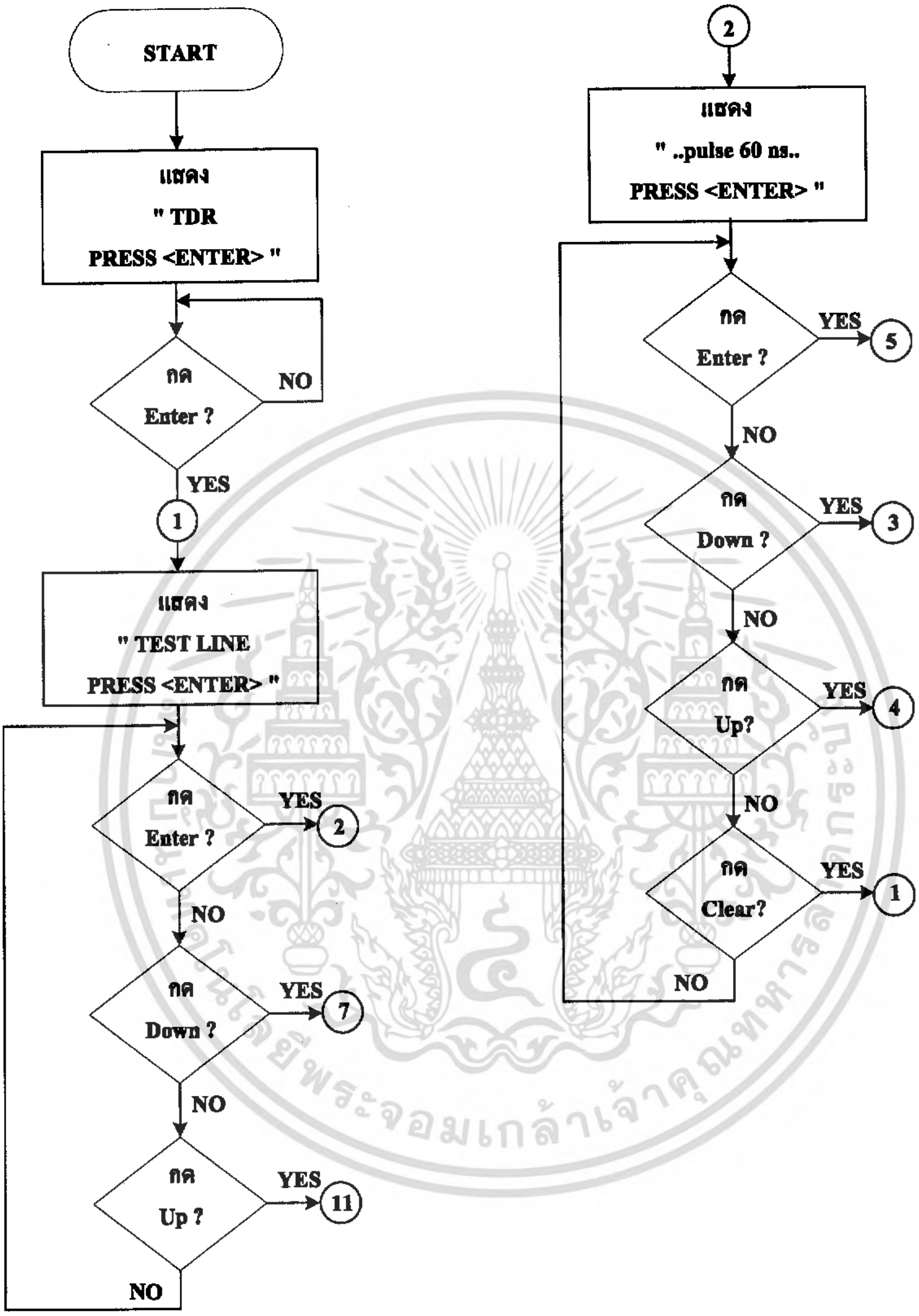
เมนู DATE & TIME

- ถ้าผู้ใช้เลือกเมนู DATE & TIME เครื่องจะแสดงวัน (วัน/เดือน/ปี) – เวลา(ชั่วโมง:นาที :วินาที) และสามารถตั้งค่าวัน – เวลาใหม่ได้โดยการกดปุ่ม Function

เมนู DATA LOGGER

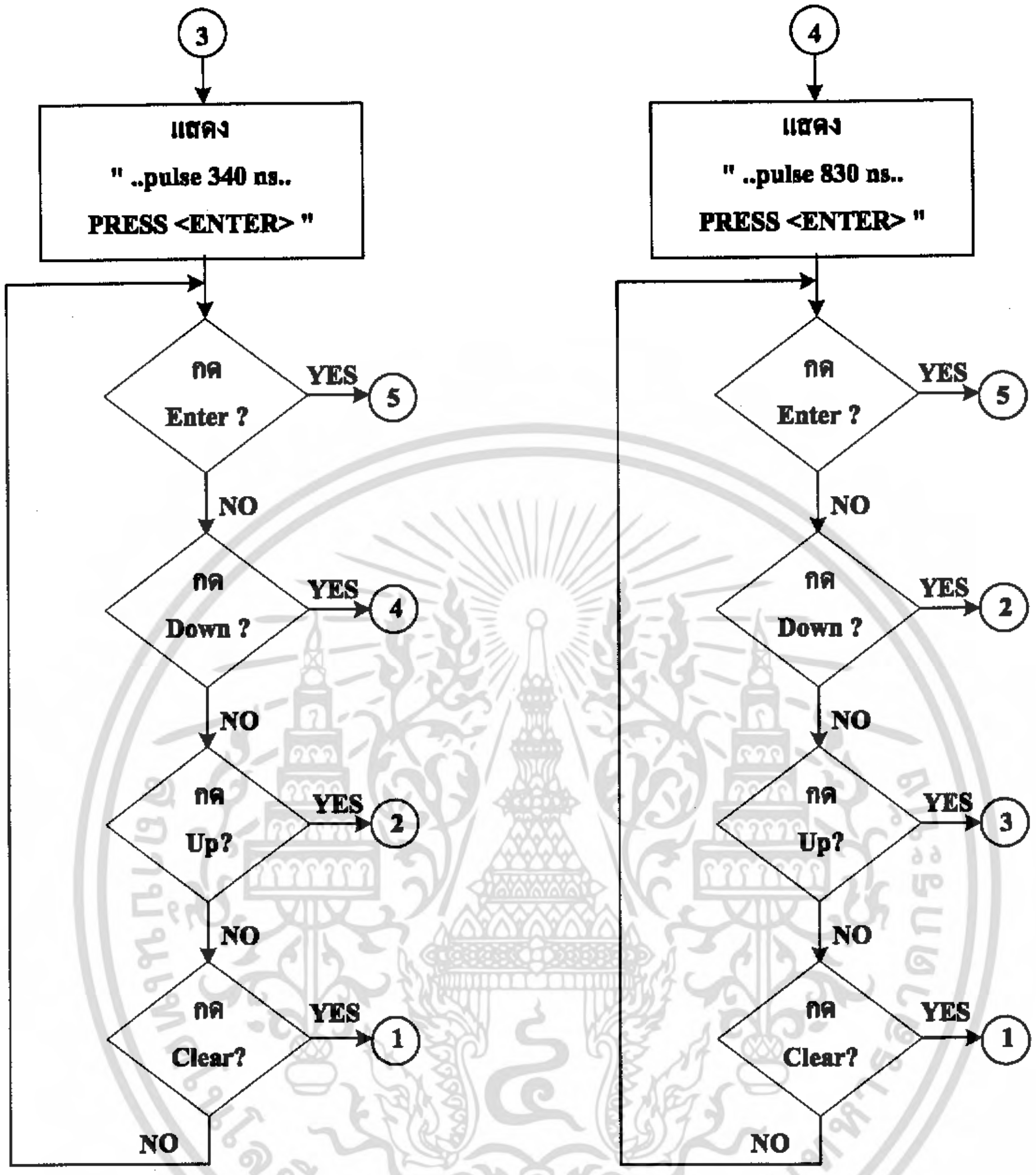
- ถ้าผู้ใช้เลือกเมนู DATA LOGGER จะสามารถดูผลการวัดที่เคยบันทึกไว้ในเครื่องได้โดยผ่านทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องสามารถบันทึกผลการวัดได้ทั้งหมด 10 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



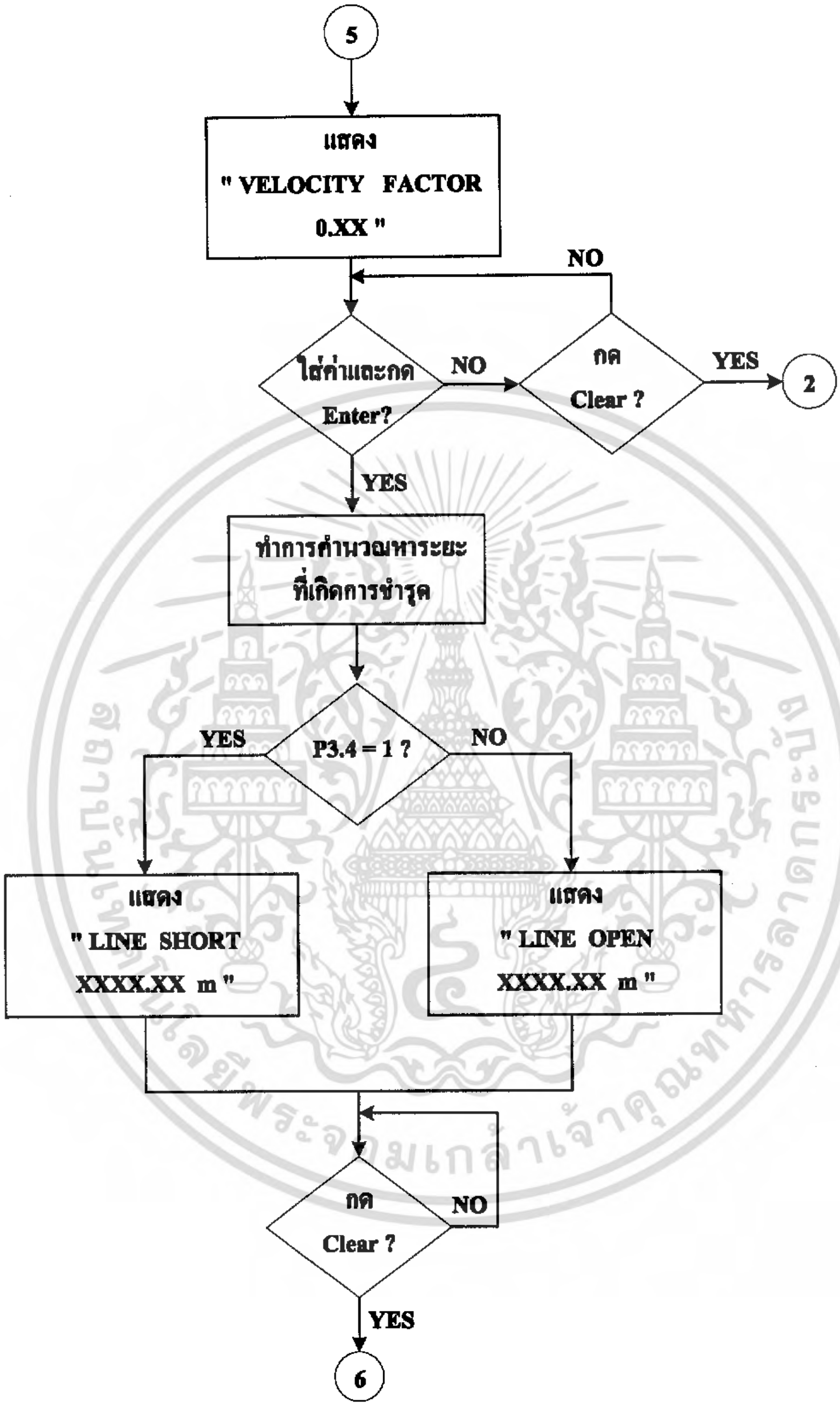
รูปที่ 4.24 (ก) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



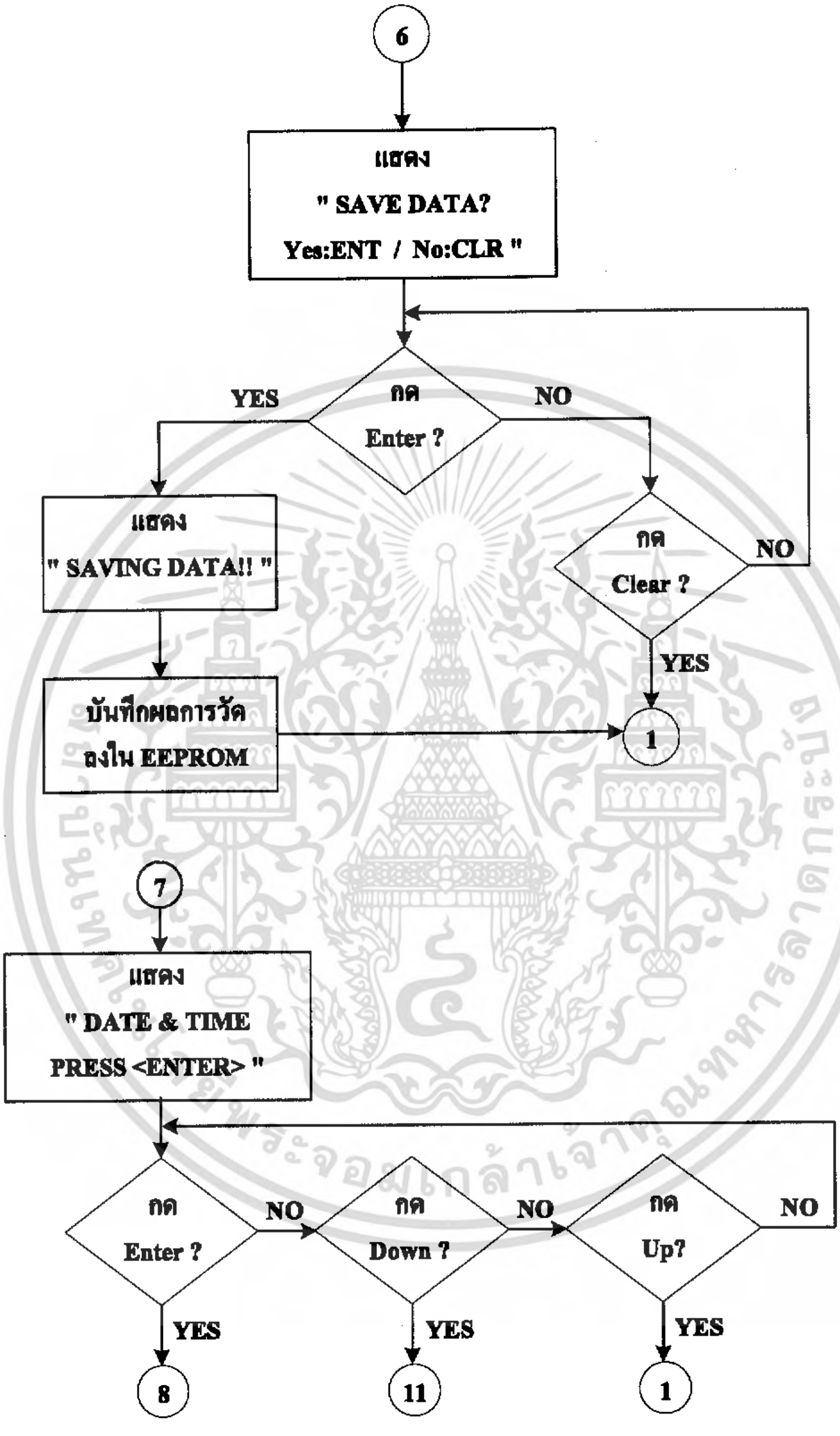
รูปที่ 4.24 (ข) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



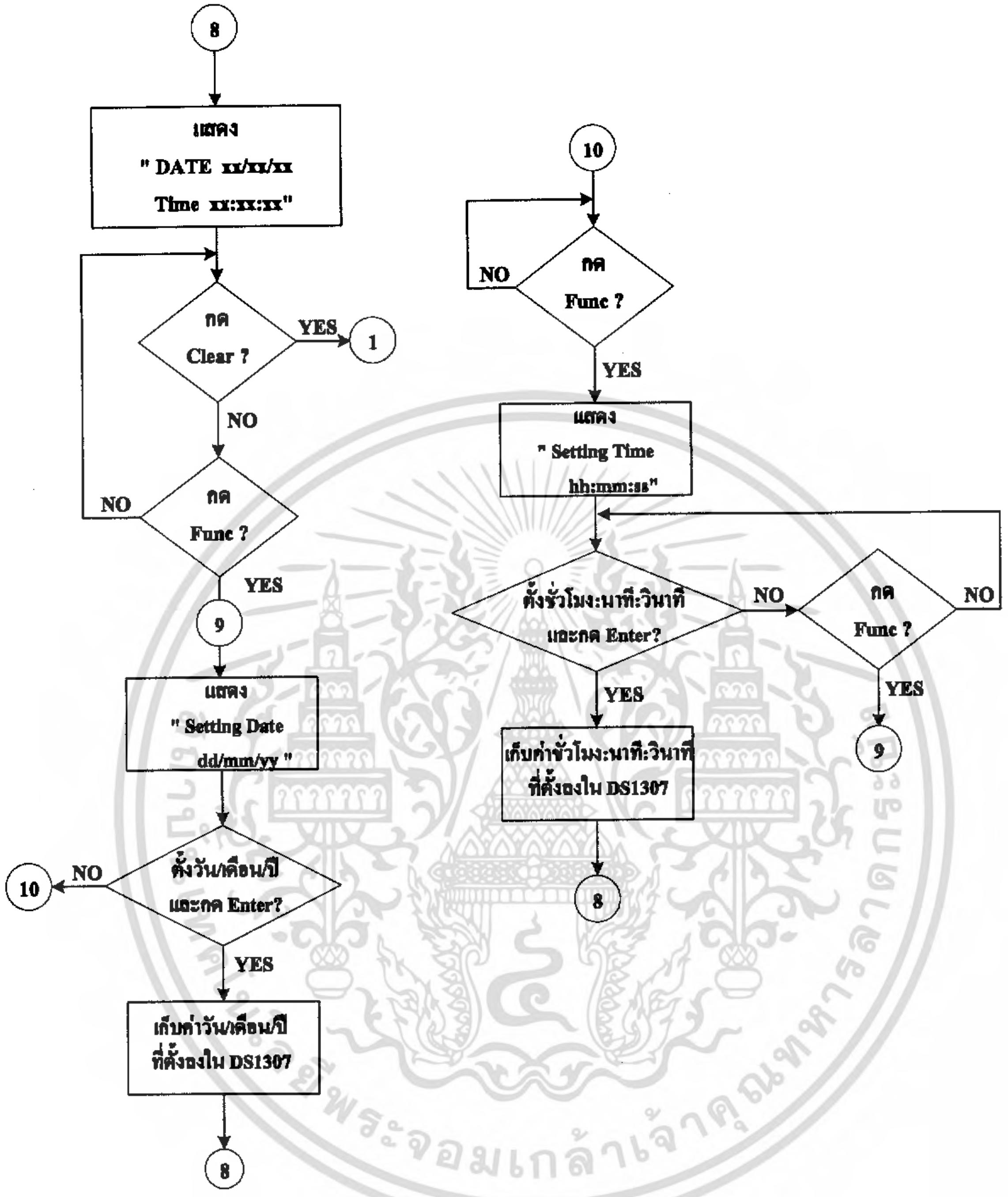
รูปที่ 4.24 (ค) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



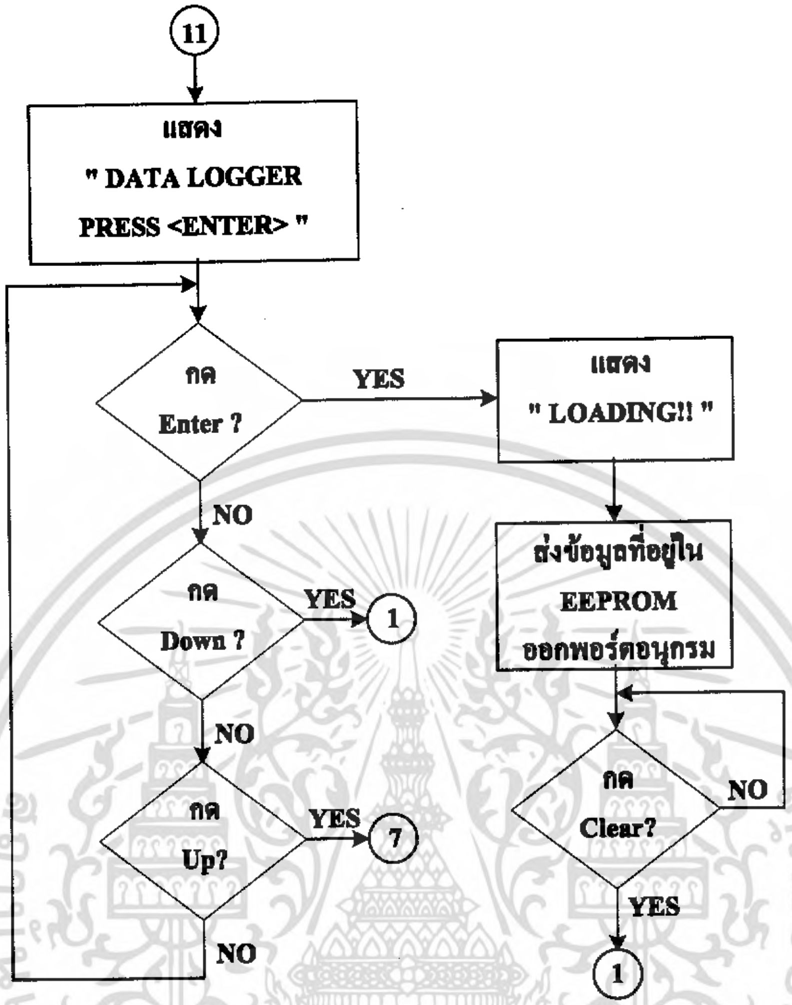
รูปที่ 4.24 (ง) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



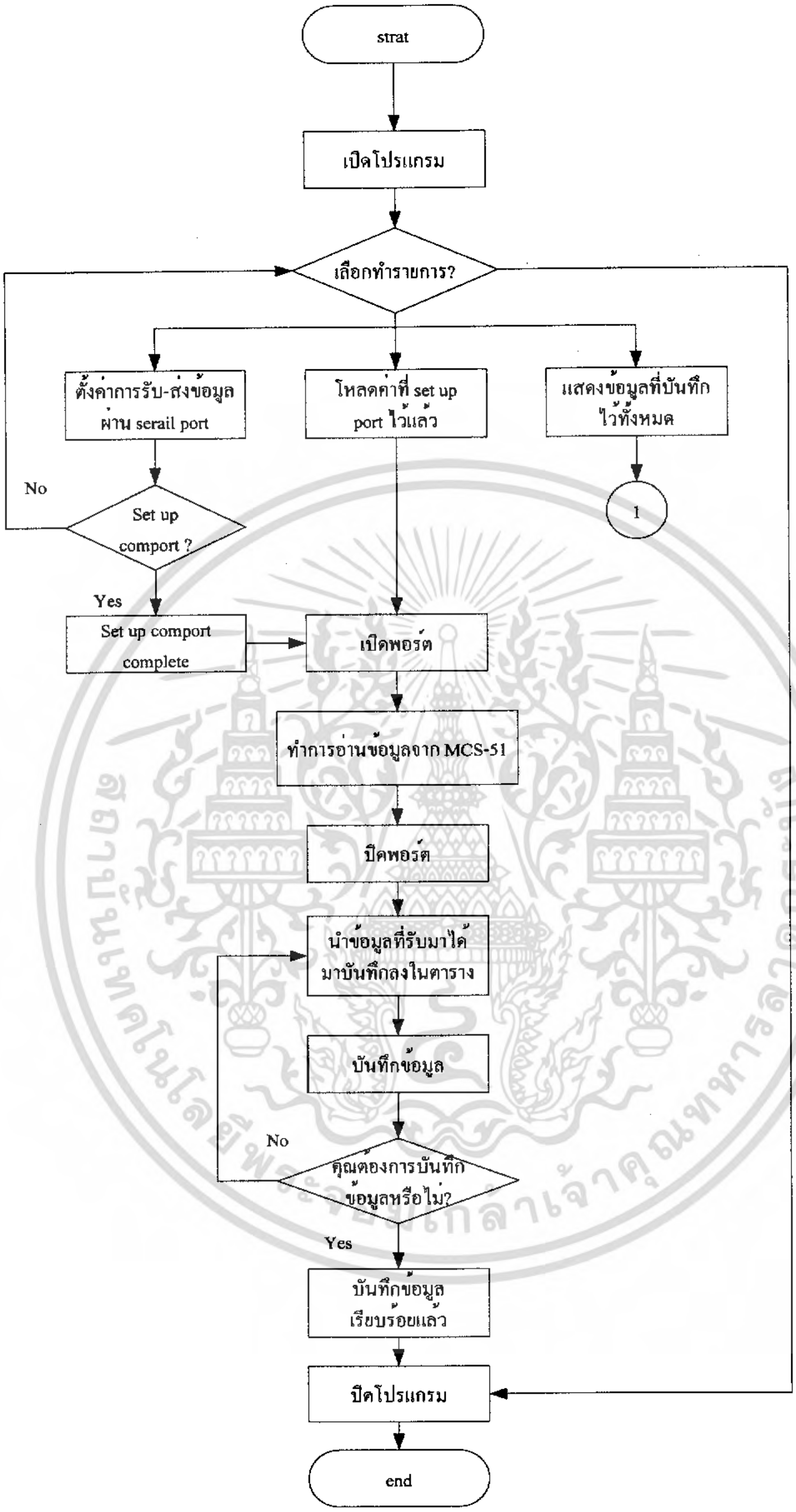
รูปที่ 4.24 (จ) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



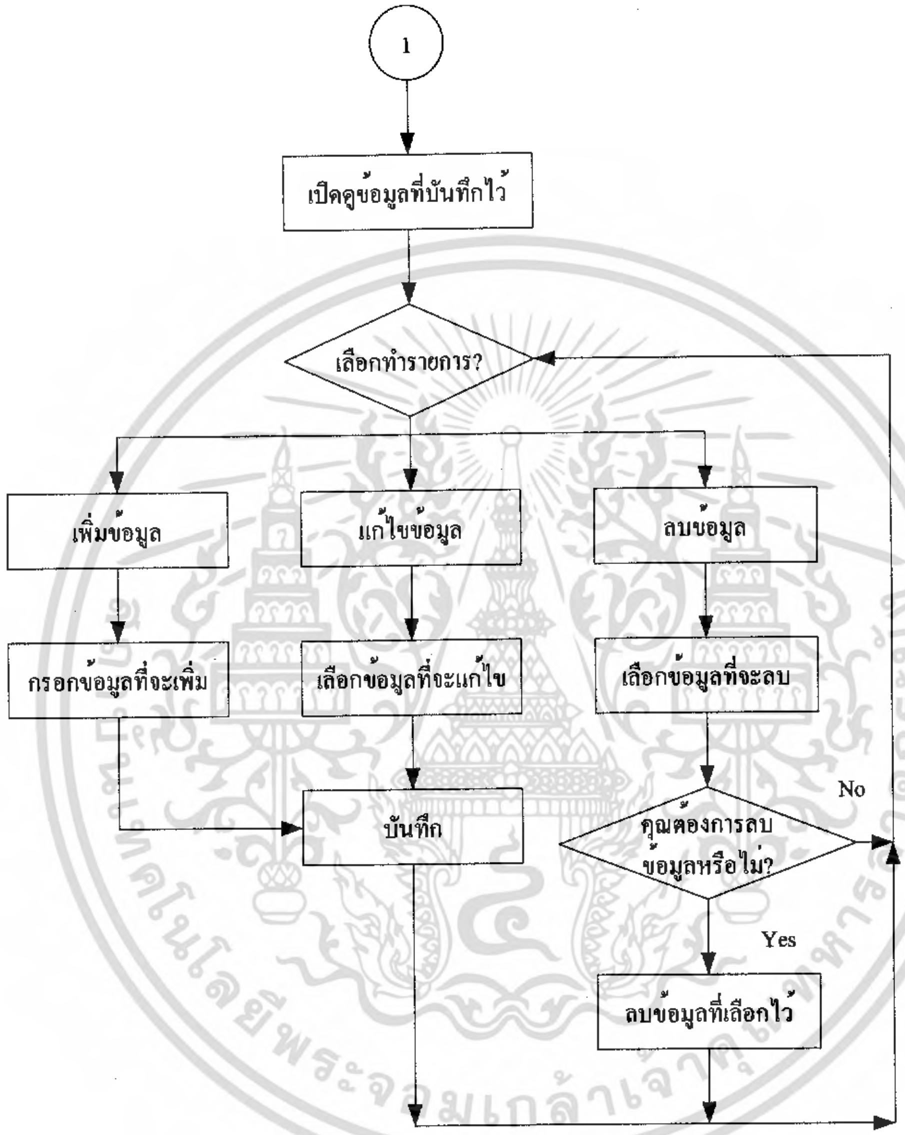
รูปที่ 4.24 (ณ) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมภาษาซี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 (ก) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมเดลไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 (ข) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมเดลไฟล์ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.9 คีย์แพดและจอแสดงผล

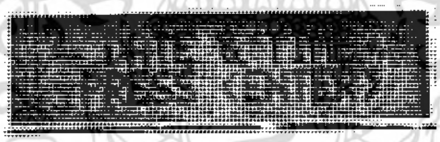
ในด้านของการแสดงผลนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะแสดงออกทางจอแสดงผล ที่ต่อกับพอร์ต 0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการควบคุมจากคีย์แพดทางพอร์ต 2 อีกทีหนึ่ง ซึ่งการทำงานของคีย์แพดและจอแสดงผล มีดังนี้

1) เมื่อเริ่มการทำงานจอแสดงผลจะแสดงข้อความ

รูปที่ 4.26 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเมื่อเครื่องทำงาน

2) เมื่อทำการกดปุ่ม Enter จอแสดงผลจะแสดงเมนูการใช้ซึ่งมีอยู่ 3 เมนู โดยสามารถเลือกดูเมนูต่างๆด้วยการกดปุ่ม ∧ หรือ ∨ ดังรูปที่ 4.26

(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 4.27 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลซึ่งแสดงเมนูใช้งานต่างๆ

เมื่อ (ก) เมนูสำหรับการทดสอบสาย

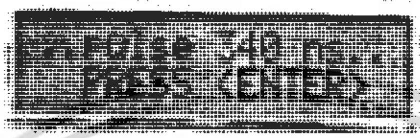
(ข) เมนูสำหรับการดูวัน-เวลา และการตั้งค่าวัน-เวลา

(ค) เมนูสำหรับการดูผลการวัดสายที่ได้บันทึกไว้ในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ถ้าเลือกเมนู TEST LINE เมื่อกดปุ่ม Enter แล้ว เครื่องจะให้ผู้ใช้เลือกความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ส่งเข้าไปในสายซึ่งมีอยู่ 3 ค่า โดยสามารถเลือกได้ด้วยการกดปุ่ม ∧ หรือ ∨ ดังรูปที่ 4.27

(ก)



(ข)

(ค)

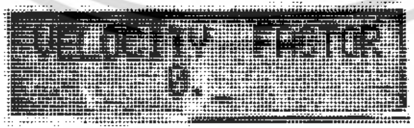
รูปที่ 4.28 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้เลือกความกว้างของสัญญาณพัลส์

เมื่อ (ก) ใช้สัญญาณพัลส์กว้าง 60 ns

(ข) ใช้สัญญาณพัลส์กว้าง 340 ns

(ค) ใช้สัญญาณพัลส์กว้าง 830 ns

4) เมื่อผู้ใช้เลือกความกว้างของสัญญาณพัลส์ด้วยการกดปุ่ม Enter แล้ว จอแสดงผลจะแสดงข้อความให้ผู้ใช้ใส่ค่า Velocity Factor ของสาย ดังรูปที่ 4.28

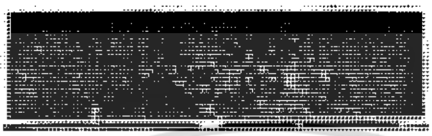


รูปที่ 4.29 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อบอกให้ผู้ใช้ใส่ค่า Velocity Factor ของสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อผู้ใช้ใส่ค่า Velocity Factor ของสาย แล้วกดปุ่ม Enter จอแสดงผลจะแสดงลักษณะการชำรุดของสาย และระยะที่เกิดการชำรุด ดังรูปที่ 4.29

(ก)



(ข)

รูปที่ 4.30 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อบอกลักษณะและระยะที่เกิดการชำรุด

เมื่อ (ก) สายที่ทดสอบขาด

(ข) สายที่ทดสอบลัดวงจร

6) เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม Clear จอแสดงผลจะแสดงข้อความเพื่อให้ผู้ใช้เลือกว่าต้องการบันทึกผลการวัดครั้งนี้หรือไม่ โดยถ้าต้องการบันทึกให้กด Enter แต่ถ้าไม่ต้องการให้บันทึกให้กด Clear ดังรูปที่ 4.30 โดยเมื่อกดแล้วจอแสดงผลจะกลับไปแสดงดังรูปที่ 4.26(ก) อีกครั้งหนึ่ง

รูปที่ 4.31 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้เลือกว่าต้องการบันทึกผลการวัดหรือไม่

7) ถ้าผู้ใช้เลือกเมนู DATE & TIME จอแสดงผลจะแสดงวัน-เวลา ดังรูปที่ 4.31

รูปที่ 4.32 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อบอกวัน-เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ถ้าต้องการตั้งวัน-เวลาใหม่สามารถทำได้โดยกด Function ดังรูปที่ 4.32 เมื่อตั้งวัน-เวลาแล้ว ให้กด Enter จอแสดงผลจะแสดงดังรูปที่ 4.31 อีกครั้งหนึ่ง

(ก)

(ข)

รูปที่ 4.33 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเพื่อให้ตั้งวัน-เวลา

เมื่อ ก) แสดงการตั้งวัน/เดือน/ปี

ข) แสดงการตั้งชั่วโมง:นาที:วินาที

9) ถ้าผู้ใช้เลือกเมนู DATA LOGGER จอแสดงผลจะแสดงดังรูปที่ 4.33 โดยข้อมูลการ วัดที่ถูกบันทึกไว้ในเครื่องจะถูกส่งออกไปยังพอร์ตอนุกรม เพื่อแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

รูปที่ 4.34 ข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลเมื่อเลือกเมนู DATA LOGGER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองและค่าความผิดพลาด

ระยะความยาวสาย (m)	ระยะความยาวสาย ที่วัดได้จากเครื่องวัด			
	OPEN		SHORT	
	ค่าที่วัดได้	ค่าความผิดพลาด (%)	ค่าที่วัดได้	ค่าความผิดพลาด (%)
67	64.31	4	64.31	4
77	72.36	6	72.36	6
130	128.63	1	128.63	1
185	180.9	2.22	180.9	2.22
230	225.12	2.12	225.12	2.12
250	241.20	3.5	265.5	0.19
317	305.52	3.6	305.52	3.6
380	385.92	1.5	385.92	1.5

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจากเครื่องวัด

* หมายเหตุ

สายเคเบิลที่ใช้ทดสอบเป็นสายดรอปไวร์ (Dropwire) ขนาด 0.9 mm.× 2 C

ค่า Velocity Factor ที่ใช้ คือ 0.66

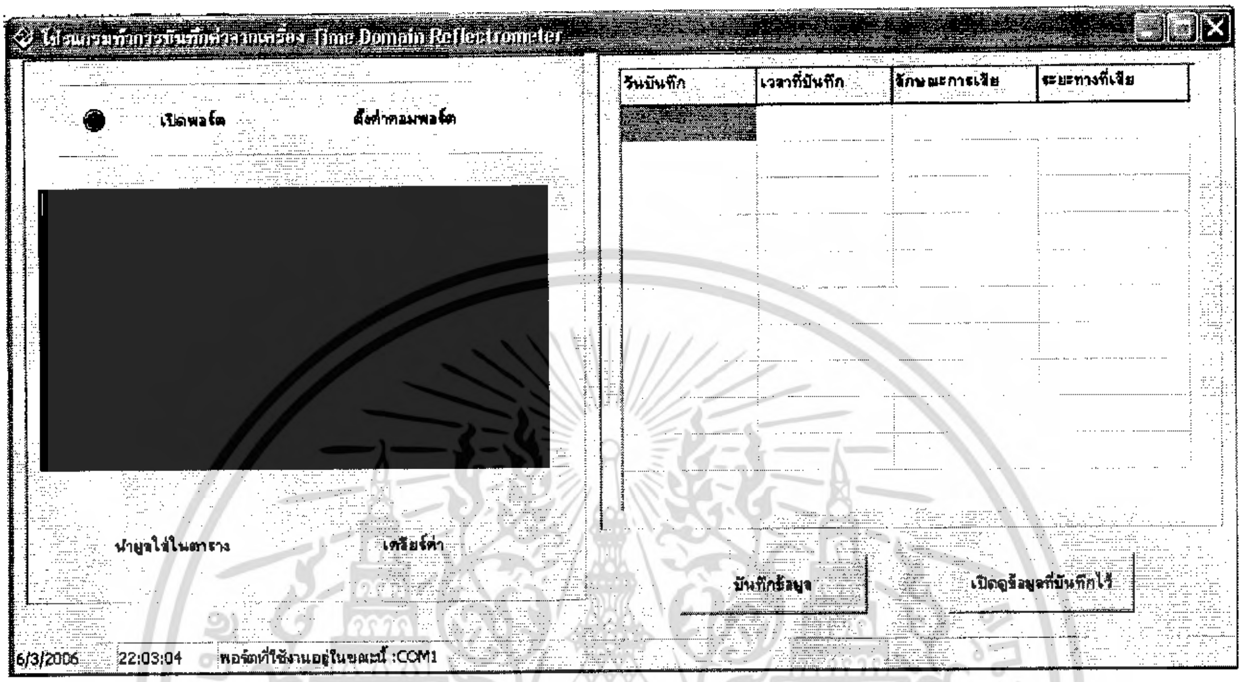
สรุปคุณสมบัติของเครื่องวัด

ความกว้างพัลส์	ระยะสายที่วัดได้	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
60 ns	50-100 m	±6%
340 ns	100-200 m	±4%
830 ns	200-300 m	±3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองในส่วนของดาต้าลอกเกอร์ (Data logger)

เมื่อทำการรันโปรแกรมที่ทำการเขียนขึ้นโดยใช้โปรแกรมเดลไฟล์ 7 แล้ว จะได้ตัวโปรแกรมขึ้นมาดังรูปที่ ซึ่งในรูปที่ จะหน้าต่างปกติเมื่อมีการเปิดโปรแกรมนี้ขึ้นมาทุกครั้ง

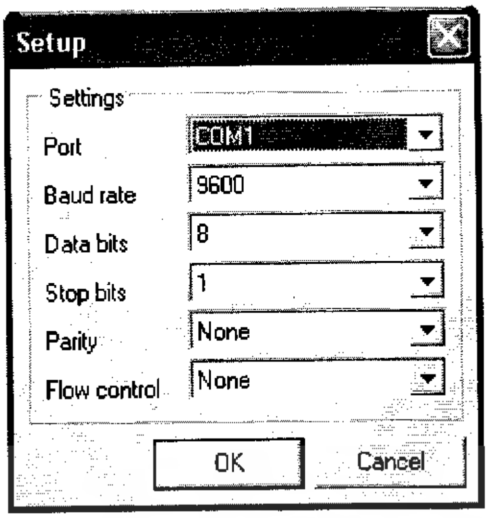


รูปที่ 4.35 ลักษณะการใช้งานเมื่อเปิดโปรแกรมทำการบันทึกค่าจากเครื่อง TDR

และเมื่อเราต้องการที่จะตั้งค่าการเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม ให้กดที่ปุ่ม "ตั้งค่าคอมพอร์ต" แล้วจะได้หน้าต่างขึ้นมาดังรูปที่ 4.35 แล้วทำการตั้งค่าต่าง ๆ ให้สัมพันธ์กับเครื่อง TDRที่ได้ทำการตั้งค่าไว้แล้วโดยที่

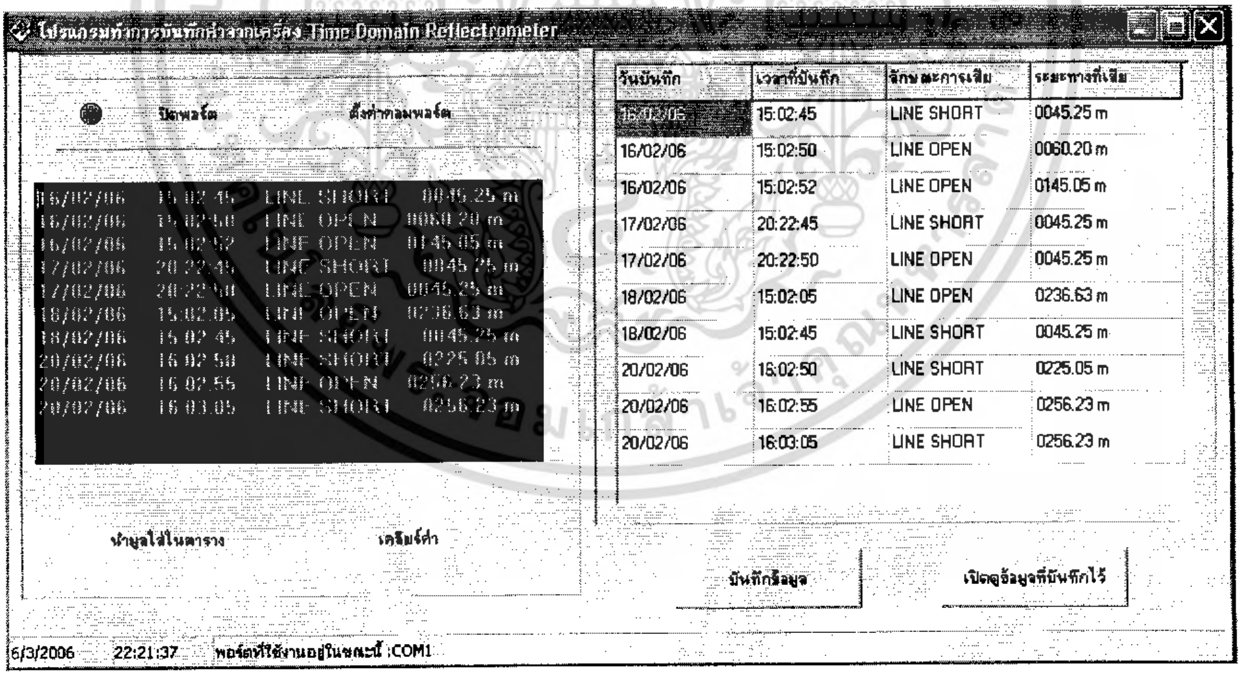
Port	คือ ช่องทางในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม
Baud rate	คือ ความเร็วของข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อกันระหว่างพอร์ตอนุกรม โดยที่
	Baud rate คือ จำนวนสัญญาณที่ทำการส่งภายในหนึ่งวินาที
	Bit rate คือ จำนวนบิตที่ทำการส่งภายในหนึ่งวินาที
	ดังนั้น เราจะได้ความสัมพันธ์ คือ
	Bit rate (bps) = Baud rate (signal/sec) × จำนวนของบิตต่อสัญญาณ
Data bits	คือ จำนวนบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูลว่าจะส่งทีละกี่บิต
Stop bits	คือ จำนวนของ stop bits ที่ใช้
Parity	คือ กำหนดว่ามีการตรวจสอบความผิดพลาดของบิตแบบใด
Flow control	คือ กำหนดค่ารูปแบบของการส่งข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 ลักษณะการใช้งานเมื่อทำการตั้งค่าคอมพอร์ต

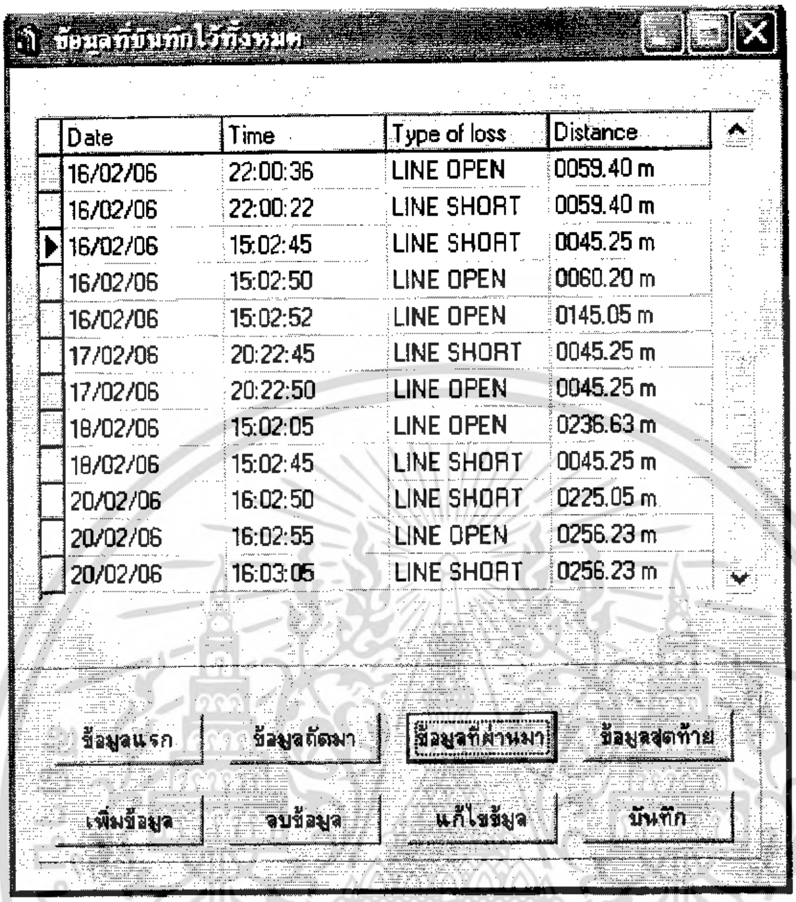
เมื่อเราตั้งค่าการติดต่อระหว่างโปรแกรมกับเครื่อง TDR เรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะทำการอ่านค่าที่เก็บไว้ในเครื่องนำมาแสดงบนหน้าต่างของโปรแกรม แล้วทำการนำข้อมูลที่อ่านค่ามาได้ไปใส่ในตาราง ดังรูปที่ และเมื่อต้องการที่จะบันทึกข้อมูลที่ได้นี้ลงในฐานข้อมูลก็ทำการกดปุ่ม "บันทึกข้อมูล" โปรแกรมก็จะทำการบันทึกข้อมูลลงไปในฐานข้อมูลของโปรแกรม เพื่อที่จะทำการเรียกดูได้ในครั้งต่อไป



รูปที่ 4.37 ลักษณะการใช้งานเมื่อทำการอ่านค่าที่บันทึกไว้จากเครื่อง TDR และทำการนำข้อมูลที่ได้ใส่ในตาราง

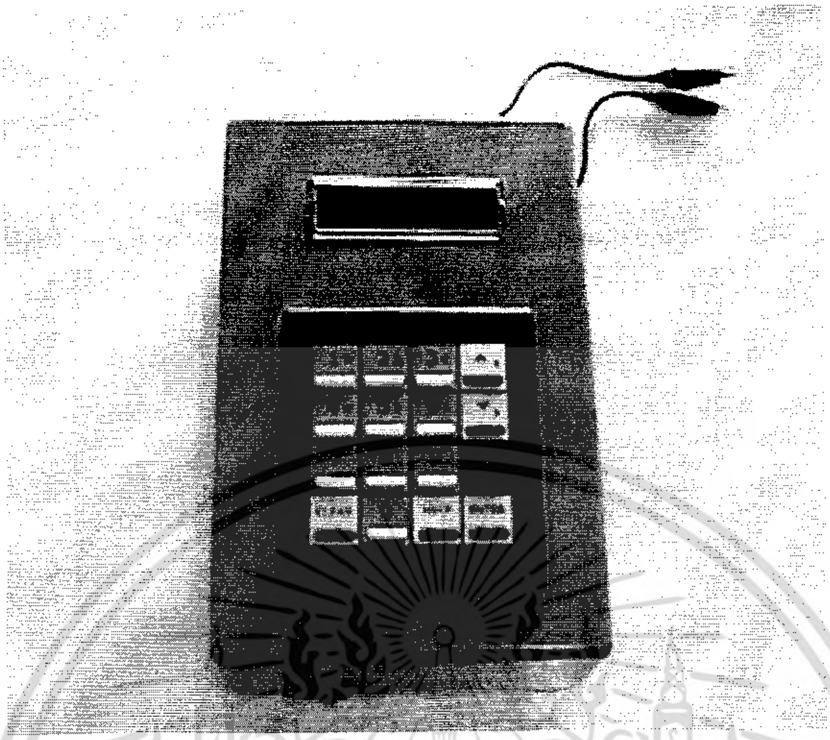
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปเมื่อกดปุ่ม "เปิดดูข้อมูลที่บันทึกไว้" ก็จะสามารถเรียกดูข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมดภายในฐานข้อมูลของโปรแกรมได้ ดังรูปที่ 4.38



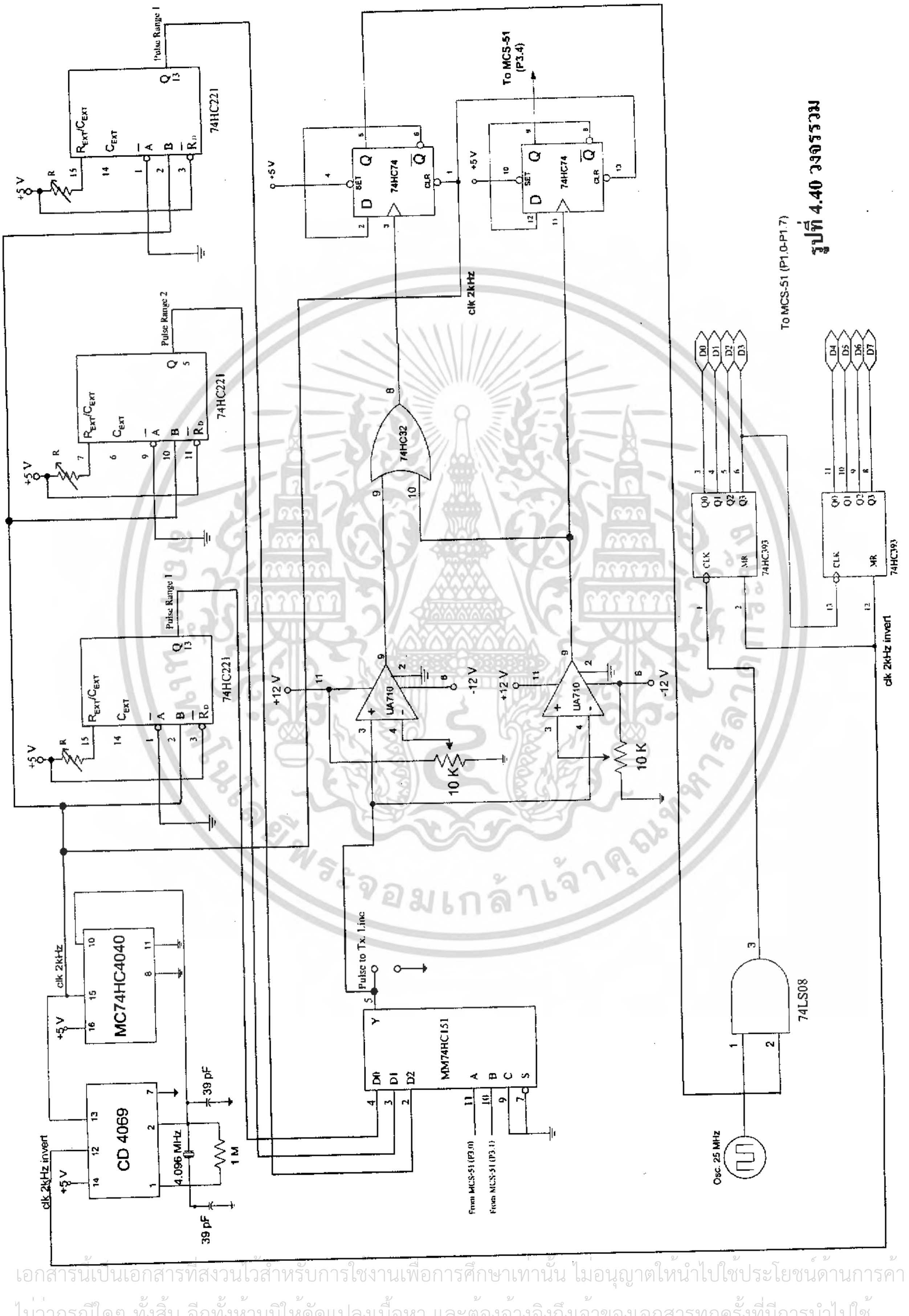
รูปที่ 4.38 ลักษณะการใช้งานเมื่อเปิดข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



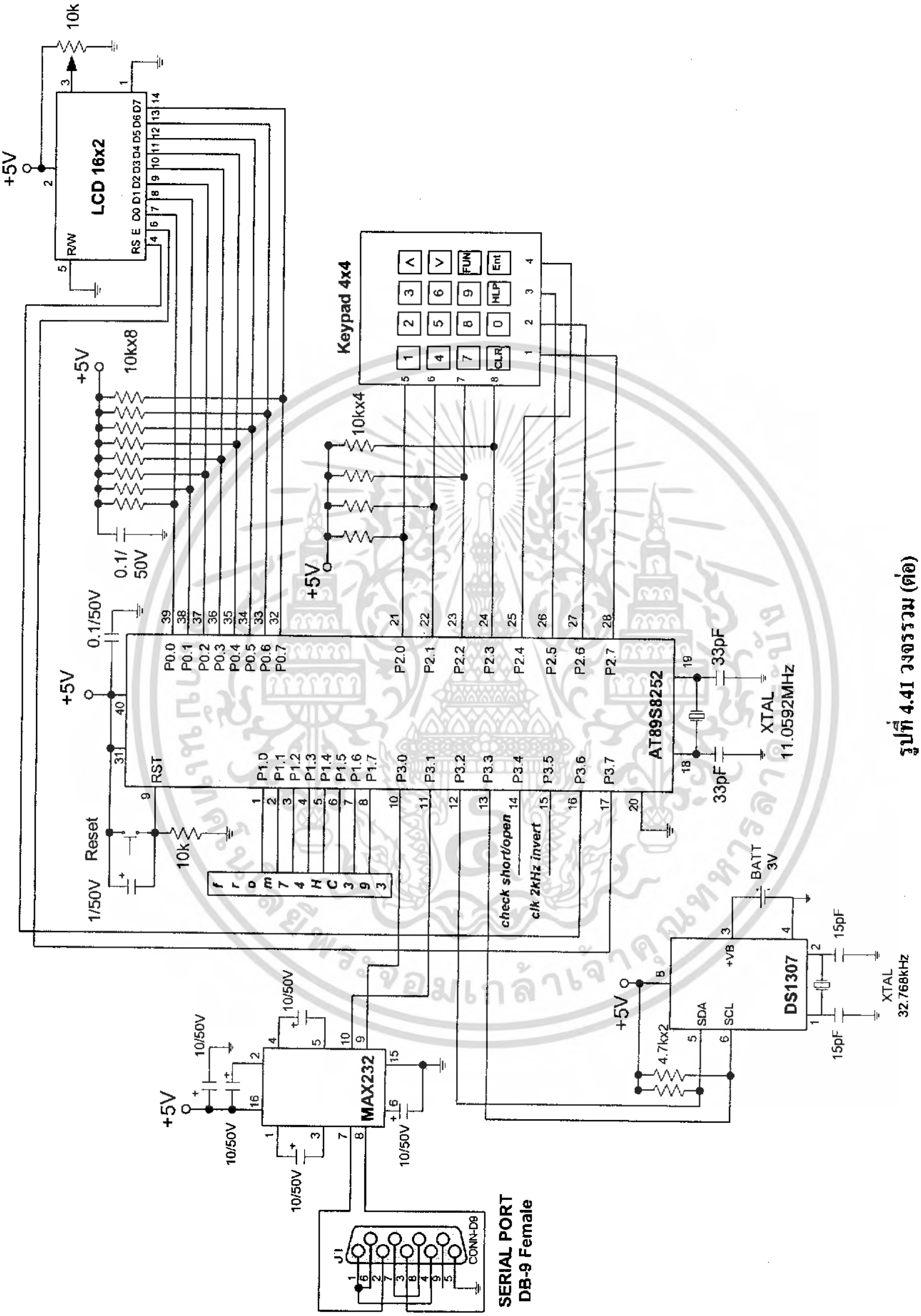
รูปที่ 4.39 เครื่อง TDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 วงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 วงจรรวม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุป

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละวงจร โดยจะแสดงปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาของวงจรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะแบ่งออกเป็น

1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์
2) วงจรเลือกสัญญาณ
3) วงจรตรวจจับสัญญาณ
4) วงจรรวมสัญญาณ
5) วงจรตรวจจับเวลาและตรวจสอบสถานะ
6) วงจรคูณสัญญาณ
7) วงจรนับ
8) ไมโครคอนโทรลเลอร์

5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

ในส่วนของวงจรกำเนิดพัลส์นี้ได้ใช้ IC #74HC221 มาเป็นตัวกำเนิดพัลส์ ซึ่งทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 3 ค่า ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่ได้มีความกว้างตามที่ต้องการแต่รูปร่างสัญญาณที่ได้ไม่สวยนัก

5.2 วงจรเลือกสัญญาณ

ในส่วนของวงจรเลือกสัญญาณนี้จะทำหน้าที่เลือกสัญญาณพัลส์ที่จะส่งไปยังวงจรตรวจจับสัญญาณซึ่งอาศัยสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยวงจรนี้สามารถทำงานได้ดีแต่บางครั้งความกว้างพัลส์ของสัญญาณเอาต์พุตก็มีการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณอินพุตไปบ้าง

5.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ

วงจรนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อความถูกต้องของสัญญาณที่ทำการวัด ซึ่งเป็นส่วนของการตรวจจับสัญญาณส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมา จึงควรมีความผิดพลาดน้อยให้น้อยที่สุด ซึ่งเราใช้ IC #UA710 ซึ่งเป็น IC Comparator มาใช้ในการตรวจจับสัญญาณ โดยต้องทำการปรับค่าแรงดันเปรียบเทียบไว้ เมื่อสัญญาณที่ส่งเข้ามาหรือสะท้อนกลับมามีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่เราตั้งไว้ ก็จะให้เอาต์พุตมีค่า 5 V ออกมาซึ่งจะต้องส่งไปวงจรรวมสัญญาณต่อไป ซึ่งสิ่งที่สำคัญในวงจรนี้ก็คือ ค่าแรงดันเปรียบเทียบที่ตั้งไว้ควรมีค่าที่ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป เพื่อให้ความผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจจับสัญญาณมีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 วงจรรวมสัญญาณ

เป็นวงจรรวมสัญญาณที่รับสัญญาณจากในส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณ ซึ่งใช้ IC#74HC32 ซึ่งเป็น OR-Gate 2 อินพุตมาเป็นตัวรวมสัญญาณ ซึ่งการทำงานของวงจรนี้ไม่มีปัญหาอะไร

5.5 วงจรตรวจจับเวลาและตรวจสอบสถานะ

เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณพัลส์ 2 ลูกที่เข้ามาสู่วงจรให้กลายเป็นพัลส์ลูกเดียว เพื่อจะนำไปทำการประมวลผล ซึ่งในที่นี้เราได้ใช้ IC #74HC74 ซึ่งเป็น D-Flip Flop มาต่อใช้งาน ซึ่งอาจจะมีปัญหาเล็กน้อยตรงที่รูปร่างสัญญาณเอาต์พุตของ D-Flip Flop 1 นั้นเป็นสัญญาณพัลส์ที่ไม่ค่อยเรียบ แต่คิดว่าไม่น่ามีผลต่อความถูกต้องมากนัก เนื่องจากการนำสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก D-Flip Flop 1 ไปคำนวณหาระยะจุดเสียนั้น ความถูกต้องในการคำนวณน่าจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างขอบขาขึ้นกับขอบขาลงของพัลส์ที่ได้จาก D-Flip Flop 1 มากกว่า

5.6 วงจรคูณสัญญาณ

เป็นวงจรที่ใช้ในการคูณสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก D-Flip Flop 1 กับสัญญาณพัลส์ความถี่สูงเพื่อที่จะส่งไปให้วงจรนับทำการนับสัญญาณต่อไป ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ IC #74LS08 ซึ่งเป็น AND-Gate มาเป็นตัวคูณสัญญาณ และใช้ออสซิลเลเตอร์ความถี่ 25 MHz ผลิตสัญญาณพัลส์ความถี่สูง ซึ่งการทำงานของวงจรนี้ไม่มีอะไร โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่นำมาคูณนั้นจะมีผลต่อความถูกต้องในการนับของวงจรนับด้วย นั่นคือถ้าสัญญาณพัลส์ที่นำมาคูณยิ่งมีความถี่สูงก็จะทำให้การนับของวงจรนับมีความละเอียดและถูกต้องมากขึ้น แต่ก็ขึ้นอยู่กับความสามารถของวงจรนับด้วยว่าสามารถนับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงไม่เกินเท่าไหร่

5.7 วงจรนับ

วงจรส่วนนี้จะทำการนับจำนวนสัญญาณพัลส์ความถี่สูงที่คูณกับสัญญาณพัลส์จาก D-Flip Flop 1 ว่ามีจำนวนกี่ลูก แล้วส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณออกมาเป็นช่วงเวลา ซึ่งส่วนที่สำคัญของวงจรนี้ก็คือ สัญญาณที่นำมาใช้ควบคุมการนับ ซึ่งต้องทำให้วงจรนับสามารถนับและคงค่าที่นับได้ไว้ช่วงหนึ่ง เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำค่าที่นับได้ไปประมวลผลได้อย่างถูกต้อง

5.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนนี้จะมีปัญหาเล็กน้อยในการเขียนซอฟแวร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าที่ได้จากวงจรนับมาทำการประมวลผลเพื่อหาความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก D-Flip Flop 1 ซึ่งจะต้องให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าที่นับได้จากวงจรนับมาทำการประมวลผล ในช่วงที่วงจรนับทำการนับค่าเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ถวิล กิ่งทอง , ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าและสายส่ง , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. นคร ภักดีชาติ , ธีรบูลย์ หล่อวิเชียรรุ่ง , ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษาซี , บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
3. นายศิริชัย บุญคง , น.ส.สิริขวัญ แซ่จิว , ว่าที่ร้อยตรีสยาม ปักกาโต , อุปกรณ์ตรวจหาระยะจุดเสียในสายเคเบิลชนิดต่างๆ , ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

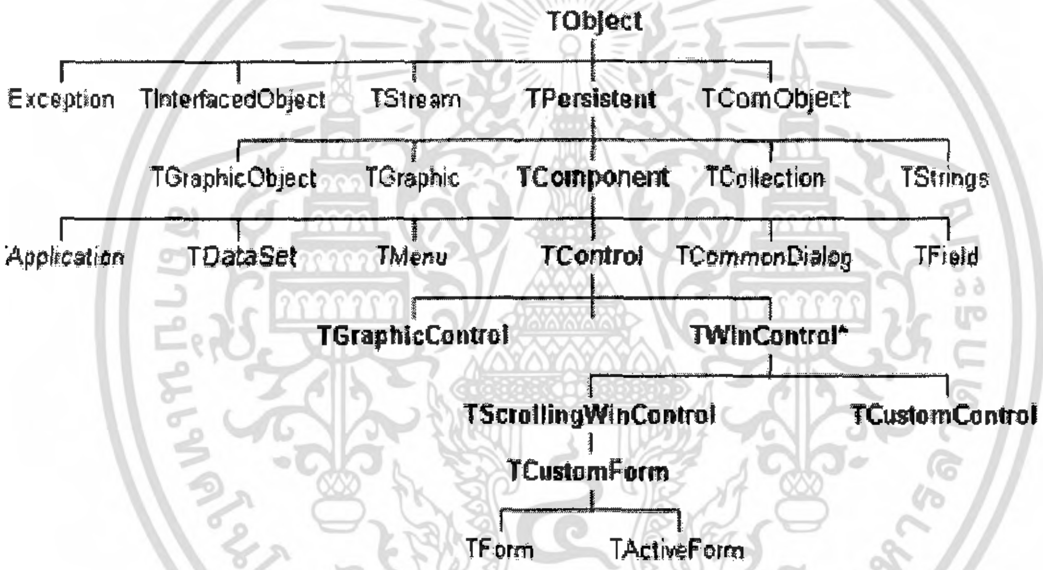
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้งานคอมโพเนนต์ต่าง ๆ ในโปรแกรมเดลไฟล์

เดลไฟล์ 7 (Delphi 7) ได้รับการพัฒนาให้สามารถเขียนโปรแกรม เพื่อใช้งานกับ วินโดว์ (Windows) ได้เป็นอย่างดีเลยทีเดียว สำหรับการเขียนโปรแกรมกับเดลไฟล์นั้น จะใช้แนวทางการเขียนโปรแกรมแบบ Event Driven ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมในลักษณะที่ว่าเมื่อมีเหตุการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้นกับตัวโปรแกรม เราก็จะมีวิธีจัดการกับเหตุการณ์นั้นๆ ด้วยการเขียนคำสั่งต่าง ๆ รองรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั่นเอง

VCL ย่อมาจาก Visual Control Library เป็นชุดของออปเจกต์ (ออปเจกต์) ที่เรานำมาประกอบกันเป็น Application โดย ออปเจกต์ ทุกตัว จะถือว่าอยู่ภายใต้ Class Tออปเจกต์ โดยออปเจกต์ที่เราใช้งานกันมากที่สุด ก็คือ ออปเจกต์ที่อยู่ภายใน Component Palette แต่จะมีออปเจกต์อีกหลายๆ ตัวเช่นกันที่ต้องอาศัยการเขียนโปรแกรมเรียกใช้งาน



รูปโครงสร้างของออปเจกต์

ในการสร้างแอพลิเคชั่น(Application) นั้น แต่ละคอมโพเนนต์ (Component) เหล่านั้น ต่างถูกจัดการด้วย ออปเจกต์ TreeView ซึ่งในการเขียนโปรแกรมนอกจากคำว่าคอมโพเนนต์แล้วเรายังพบคำอื่นๆ ที่อาจสร้างความสับสนให้เรา ซึ่งคำเหล่านั้นคือ ออปเจกต์(Object) และ คอนโทรล(Control) ความหมายของคำทั้ง 3 คำเป็นดังนี้

- ออปเจกต์(Object) เป็นคำที่มีความหมายกว้างที่สุด หมายถึงสิ่งต่างๆ ที่มี พร็อพเพอร์ตี้ (Property), เมธอด(Method) ของมันอยู่ ซึ่งอาจจะเป็นคอมโพเนนต์ที่เราเคยใช้สร้างแอพลิเคชั่น(Application) หรือ อาจจะเป็น คลิปบอร์ด(Clipboard),เมโมรี(Memory) ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คอมโพเนนต์ (Component) เป็นคำที่มีความหมายแคบเข้ามาอีก หมายถึง ออปเจกต์ต่างๆ ที่อยู่ใน Component Palette ซึ่งถ้าหากสร้างแอพลิเคชั่นบนวินโดส์ (Windows) จะสร้างมาจาก Class VCL
- คอนโทรล(Control) เป็นคอมโพเนนต์ที่สามารถมองเห็นได้ขณะทำการรันโปรแกรม เช่น Edit, Label, Button, RadioButton, CheckBox หรือ ListBox เป็นต้น ซึ่งคอมโพเนนต์บางตัวไม่ถือเป็นคอนโทรล คือ จะมองไม่เห็นขณะทำการรันโปรแกรม เช่น ImageList, ADOConnection, BDE, Timer หรือ Table เป็นต้น

ในที่นี้เราจะต้องการอธิบายเฉพาะคอมโพเนนต์ที่ใช้ในโครงงานนี้เท่านั้น

1.1 SpeedButton

ในการใช้งานโปรแกรมต่างๆ เช่น MS Word, MS Excel, WinZip, WinRar เราจะพบว่าได้มีการนำคำสั่งที่ใช้งานกันบ่อยๆ มาเก็บไว้ในรูปของ Speed Button ซึ่งตัว Speed Button นี้จะสามารถใช้ คีย์บอร์ด กดปุ่มแทป(Tab) ให้เลื่อนไปยังปุ่มต่างๆ ได้เหมือนกับปุ่มกดทั่วไปที่อยู่บนฟอร์ม ซึ่งตัว Speed Button นี้จะมีลักษณะของพร็อพเพอร์ตี้(Property) และอีเวนต์(Event) คล้ายกับคอมโพเนนต์ Button ด้วย

พร็อพเพอร์ตี้ ของ SpeedButton

- AllowAllUp กำหนดให้ปุ่มกด ทุกปุ่มที่อยู่ใน GroupIndex เดียวกัน มีสภาวะ Up
- Anchors เป็นการจัดจุดยึดกับออปเจกต์หลัก เมื่อออปเจกต์หลักมีการเปลี่ยนขนาด โดยจะยึดที่จุดใดเป็นหลัก ได้แก่ ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านบน และด้านล่าง
- Caption เป็นข้อความที่จะแสดงผลใน SpeedButton
- Constraints เป็นการกำหนดเพื่อจำกัดขนาด กว้างสูงสุด ความกว้างต่ำสุด ความสูงสูงสด และความสูงต่ำสุดให้กับ BitBtn
- Cursor เป็นการกำหนดคอร์เซอร์เมื่อเมาส์เคลื่อนผ่าน
- Down ใช้กำหนดให้ปุ่มกดมีสภาวะเป็น Down ซึ่งเมื่อ GroupIndex มีค่าไม่เป็น 0
- Enabled เป็นการควบคุมการ Active ของปุ่ม ว่าจะให้ Active พร้อมใช้งานหรือไม่
- Flat เป็นการกำหนดว่าจะให้ปุ่มมีเงาหรือไม่
- Font เป็นการกำหนดรูปแบบของตัวอักษรให้กับปุ่มกด
- Glyph เป็นการกำหนดรูปภาพให้กับปุ่มกด
- GroupIndex ใช้กำหนดกลุ่มของ SpeedButton ถ้ากำหนดเป็น 0 หมายถึง SpeedButton เป็นอิสระต่อกัน แต่ถ้าต้องการจัดกลุ่ม เราต้องกำหนดค่าตั้งแต่ 1 เป็นต้นไป โดยเลือกกลุ่มที่มีความสัมพันธ์กัน เข้ากลุ่มเดียวกัน โดยแต่ละกลุ่มจะมี GroupIndex แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Height เป็นการกำหนดขนาดความสูงของปุ่มกด
- Hint เป็นการกำหนดคำแนะนำ กำกับปุ่มกดเมื่อเมาส์เคลื่อนผ่าน
- Layout เป็นรูปแบบของภาพบนปุ่มว่าต้องการอยู่ซ้าย, ขวา, บน หรือล่างของข้อความ
- Left เป็นการกำหนดระยะ ทางด้านซ้าย ของปุ่มจากออปเจกต์หลัก
- Margin เป็นระยะห่างระหว่างรูปภาพกับขอบของปุ่มกด
- Name เป็นการกำหนดชื่ออ้างอิงให้กับปุ่มกด
- NumGlyphs เป็นการกำหนดจำนวนภาพที่ได้กำหนดไว้ในพร็อพเพอร์ตี้ Glyph ว่ามีกี่ส่วน
- ParentFont เป็นการกำหนดว่าจะให้ใช้รูปแบบอักษรจากออปเจกต์หลักหรือไม่
- ParentShowHint เป็นการกำหนดว่าจะให้ใช้ ข้อความแนะนำจากออปเจกต์หลักหรือไม่
- PopupMenu เป็นการกำหนด Popup Menu เมื่อมีการคลิกเมาส์ที่ปุ่มขวา
- ShowHint กำหนดว่าจะให้แสดงข้อความแนะนำหรือไม่
- Spacing เป็นระยะห่างรูปภาพกับขอบของข้อความ
- Tag เป็นการกำหนดลำดับหมายเลขของ SpeedButton
- Top เป็นการกำหนดระยะห่างด้านบนจากออปเจกต์หลักกับปุ่มกด
- Transparent เป็นการกำหนดว่าจะให้แสดงพื้นหลังแบบโปร่งใสหรือไม่
- Visible เป็นการกำหนดว่าจะให้แสดงปุ่มกดหรือไม่ หากกำหนดเป็น True จะแสดง
- Width เป็นการกำหนดความกว้างของ SpeedButton

เมธอด ของ SpeedButton

- Click เป็นการทำให้เกิดสั่งการคลิกที่ปุ่ม

Event ของ SpeedButton

- OnClick เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการคลิกเมาส์
- OnDblClick เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการดับเบิลคลิกเมาส์จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ GroupIndex ไม่เท่ากับ 0
- OnMouseDown เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกดปุ่มเมาส์ลง
- OnMouseMove เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนเมาส์ผ่าน
- OnMouseUp เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการยกปุ่มเมาส์ขึ้น

1.2 Memo

คอมโพเนนต์นี้ใช้ในการแสดงข้อความที่มีมากกว่า 1 บรรทัด และยังสามารถอ้างอิงข้อความในบรรทัดที่ต้องการได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร็อพเพอร์ตี้ ของ Memo

- Align เป็นรูปแบบกาจัดวาง Memo ให้อยู่ในแนวใด ของฟอร์มได้แก่ ชิดด้านบน ชิดด้านล่าง ชิดด้านซ้าย ชิดด้านขวา แบบเต็มฟอร์ม หรือไม่จัดแนวระดับ
- Alignment เป็นรูปแบบการจัดวางแนวของข้อความว่าจะชิดซ้าย ชิดขวา หรืออยู่ตรงกลาง
- Anchors เป็นการจัดจุดยึดกับออปเจกต์หลักเมื่อออปเจกต์หลักมีการเปลี่ยนขนาด โดยจะยึดที่จุดใดเป็นหลัก ได้แก่ ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านบน และด้านล่าง
- BorderStyle เป็นการกำหนดรูปแบบของขอบว่าจะให้มีขอบหรือไม่
- Color เป็นการกำหนดสีพื้นหลังให้กับ Memo
- Constraints เป็นการกำหนดเพื่อจำกัดขนาด กว้างสูงสุด ความกว้างต่ำสุด ความสูงสูงสุด และความสูงต่ำสุดให้กับ Memo
- Ctl3D เป็นการกำหนดการแสดงของ Memo ว่าจะแสดงแบบสามมิติหรือไม่
- Cursor เป็นลักษณะของการชี้ของ Mouse เมื่อเราเลื่อนวางเหนือ Memo ปกติเป็นรูปลูกศร แต่เราสามารถเปลี่ยนเป็นรูปอื่นๆ ได้เช่น รูปมือ รูปนาฬิกาทราย เป็นต้น
- Enabled เป็นการควบคุมการ Active ของ Memo ว่าจะให้ Active หรือไม่
- Font เป็นการกำหนดรูปแบบของตัวอักษรให้กับ Memo
- Height เป็นการกำหนดขนาดความสูงของ Memo
- Hint เป็นการกำหนดคำแนะนำกำกับ Memo เมื่อ Mouse เคลื่อนผ่าน
- Left เป็นการกำหนดระยะ ทางด้านซ้ายของปุ่มกดจากออปเจกต์หลัก
- Line เป็นการเก็บข้อมูลและจัดวางข้อความที่อยู่ใน Memo โดยจะเก็บอยู่ในบรรทัดต่างๆ เริ่มจากบรรทัดที่ 0 เป็นต้นไป
- MaxLength เป็นการกำหนดจำนวนความยาวตัวอักษรสูงสุดที่ยอมรับได้
- Name เป็นการกำหนดชื่ออ้างอิงให้กับ Memo
- ParentFont เป็นการกำหนดว่าจะให้ใช้รูปแบบของตัวอักษรจากออปเจกต์หลักหรือไม่
- ParentShowHint เป็นการกำหนดว่าจะให้ใช้ข้อความแนะนำจากออปเจกต์หลักหรือไม่
- PasswordChar เป็นการกำหนดรูปแบบตัวอักษรสำหรับการแสดงการรับรหัสผ่าน
- PopupMenu เป็นการกำหนด Popup Menu เมื่อมีการคลิกเมาส์ที่ปุ่มขวา
- ReadOnly ถ้ากำหนดเป็น True จะเป็นการกำหนดว่าใช้อ่านอย่างเดียวรับข้อมูลจากผู้ใช้ไม่ได้
- ScrollBars เป็นการกำหนดรูปแบบการแสดงแถบเลื่อนบรรทัด
- ShowHint กำหนดว่าจะให้แสดงข้อความแนะนำหรือไม่
- Top เป็นการกำหนดระยะห่างด้านบนจากออปเจกต์หลักกับ Memo
- Visible เป็นการกำหนดว่าจะให้แสดง Memo หรือไม่ หากกำหนดเป็น True จะทำการแสดง
- WantTaps เป็นการกำหนดว่าจะใช้อักษรเว้นระยะแทปหรือไม่
- Width เป็นการกำหนดความกว้างของ Memo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- WordWrap ถ้ากำหนดเป็น True จะทำให้ข้อความที่ยาวเกินขนาดของ Memo ถูกบังคับให้ขึ้นบรรทัดใหม่

Event ของ Memo

- OnChange เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อความใน Memo
- OnClick เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการคลิกเมาส์ที่ยังไม่ยกนิ้วขึ้น
- OnDblClick เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการดับเบิลคลิกเมาส์
- OnEnter เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อการคลิกหรือย้ายการทำงานเข้าสู่ Memo
- OnExit เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนจุดสนใจไปที่ออปเจกต์อื่น หมายถึงถูกยกเลิกการสนใจที่จุดนั้นนั่นเอง
- OnKeyDown เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกดปุ่มคีย์บอร์ดลง
- OnKeyPress เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกดปุ่มคีย์บอร์ดขณะที่ยังไม่ยกขึ้น
- OnKeyUp เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปล่อยปุ่มคีย์บอร์ดขึ้น
- OnMouseDown เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกดปุ่มเมาส์ลงไป
- OnMouseMove เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนเมาส์ผ่าน
- OnMouseUp เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปล่อยปุ่มเมาส์ขึ้น

1.3 StatusBar

ในการทำงานเรามักจะต้องการทราบสถานะ ในการทำงานว่าเป็นอย่างไร ซึ่งสิ่งที่เราพบอยู่บ่อยๆ ในหลายๆโปรแกรมคือ การใช้งานแถบแสดงสถานะ (Status bar) ซึ่ง แถบแสดงสถานะ เป็นแถบข้อความที่อยู่ด้านล่างของฟอร์ม โดยมีการแบ่งออกเป็นช่องๆ โดยเราเรียกแต่ละช่องว่าพาแนล (Panel) ซึ่งสามารถเพิ่มลบได้ตามต้องการ

พร็อพเพอร์ตี้ ของ StatusBar

- Panels เป็นอาเรย์ที่ใช้เก็บ Panel ต่างๆ ของ StatusBar ซึ่งสามารถเพิ่มเติมหรือลบได้ผ่านทาง Collection Editor
- SizeGrip เป็นการเลือกว่าจะให้ StatusBar สามารถปรับขนาดได้ ตามการเปลี่ยนแปลงความกว้างของฟอร์มหรือไม่
- SimplePanel ถ้ากำหนดเป็น True จะทำให้ StatusBar แสดงข้อมูลด้วย Panel เดียว
- SimpleText เป็นการกำหนดข้อความให้กับ StatusBar ในกรณีที่กำหนดเป็น SimplePanel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 Timer

ใช้ในการจัดการที่ต้องเกี่ยวข้องกับเวลา เราจำเป็นต้องอาศัยคอมโพเนนต์ Timer เข้ามาช่วยในการทำงาน โดยมีหลักการทำงานง่ายๆ โดยที่เราจะต้องกำหนดช่วงเวลาที่ Timer จะทำงานไว้ เมื่อ Timer ทำงาน มันจะค่อยๆ นับเวลาไปจนครบ ตามที่ตั้งไว้ แล้วทำงานตามที่เราเขียนโค้ดเอาไว้

พร็อพเพอร์ตี้ ของ Timer

- Enabled เป็นการควบคุมการทำงานว่าจะให้ทำงานหรือไม่
- Interval เป็นช่วงเวลาที่เรากำหนดให้คอมโพเนนต์ Timer นับเวลาจนครบรอบ ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลิวินาที (1/1000 วินาที) ถ้าหากกำหนดเป็น 0 จะเหมือนการสั่งให้คอมโพเนนต์ Timer ไม่ต้องนับเวลา
- Name เป็นการกำหนดชื่ออ้างอิงให้กับ Timer
- Tag เป็นการกำหนดลำดับหมายเลขของ Timer

Event ของ Timer

- OnTimer เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อคอมโพเนนต์ Timer ทำงาน

1.5 StringGrid

ในการจะแสดงข้อมูลในลักษณะตารางเราจะต้องใช้คอมโพเนนต์ StringGrid เข้ามาช่วย โดยที่ตารางนั้นจะประกอบไปด้วยแถว (Row) และคอลัมน์ (Column) และเรียกแต่ละช่องในตารางว่า เซลล์ (Cell) ซึ่งข้อมูลในแต่ละเซลล์จะต้องเป็นชนิดข้อความเท่านั้น โดยที่ในขณะใดขณะหนึ่ง StringGrid จะสนใจที่เซลล์ใดเซลล์หนึ่งเท่านั้น แต่เราไม่สามารถแก้ไขข้อมูลจาก StringGrid ได้

พร็อพเพอร์ตี้ ของ StringGrid

- Cells ใช้อ้างอิงช่วงข้อมูล โดยมีลักษณะเป็นอาเรย์ Cells[col,row]
- Col แสดงคอลัมน์ที่กำลังถูกสนใจ
- ColCount จำนวนคอลัมน์ที่มีใน StringGrid
- Cols ใช้เก็บรายการของข้อมูลในแต่ละ คอลัมน์ซึ่งเป็นอาเรย์ของข้อความ
- Row แสดงแถวที่กำลังถูกสนใจ
- RowCount จำนวนแถวที่มีใน StringGrid
- Rows ใช้เก็บรายการของข้อมูล ในแต่ละแถวซึ่งเป็นอาเรย์ของ String
- FixedCols เป็นจำนวนคอลัมน์ที่คงที่ ซึ่งจะอยู่ที่คอลัมน์ซ้ายสุด ไม่สามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- FixedRows เป็นจำนวนแถวที่คงที่ ซึ่งจะอยู่ที่คอลัมน์ซ้ายสุด ไม่สามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้
- FixedColor เป็นสีของแถวและคอลัมน์ที่คงที่

1.6 DBGrid

ใช้แสดงข้อมูลในรูปแบบของตารางที่ประกอบไปด้วยแถวและคอลัมน์จากคอมโพเนนต์ กลุ่มของข้อมูล นอกจากนั้นเรายังแก้ไขข้อมูลจาก DBGrid ได้ด้วย

พร็อพเพอร์ตี้ ของ DBGrid

- DataSource กำหนดแหล่งข้อมูลที่ต้องการ
- Column กำหนดฟิวส์ (Field) ที่ต้องการแสดงในกริด (Grid) ข้อมูล

1.7 DataSource

เป็นคอมโพเนนต์ที่ใช้เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของข้อมูล (DataSet) กับคอมโพเนนต์ที่ทำการแสดงผล (Data-aware) โดยที่คอมโพเนนต์ทุกตัวในหน้าต่างควบคุมการทำงาน (Page Data Control) จะต้องอ้างถึงคอมโพเนนต์ตัวนี้ เพื่อกำหนดแหล่งข้อมูลที่จะนำไปแสดงในคอมโพเนนต์นั้นๆ

พร็อพเพอร์ตี้ ของ DataSource

- AutoEdit ถ้ามีการติดต่อกับแหล่งข้อมูลแล้ว สถานะในการแก้ไขข้อมูลจะถูกกำหนดขึ้นโดยอัตโนมัติ เมื่อกำหนดเป็น True แต่ถ้าเป็น False เราจะต้องเรียกใช้ เมธอด Edit ก่อนถึงจะทำการแก้ไขข้อมูลได้
- กลุ่มของข้อมูล กำหนดกลุ่มของข้อมูลให้กับแหล่งข้อมูลขณะที่เราออกแบบเราสามารถเลือกกลุ่มของข้อมูลได้จากรายการเลือกในออปเจกต์ Inspector ส่วนในขณะที่ทำการรันโปรแกรมเราสามารถเปลี่ยนแปลงค่าของกลุ่มของข้อมูล โดยการเขียนโค้ดขึ้นมา
- Enabled ใช้บอกว่าแหล่งข้อมูลของเราได้ทำการติดต่อกับกลุ่มของข้อมูลหรือไม่ โดยถ้ากำหนดเป็น True แสดงว่าคอมโพเนนต์ DataSource ของเราได้มีการติดต่อกับ กลุ่มของข้อมูล แล้ว แต่ถ้าเรากำหนดให้เป็น False แล้ว DataSource นี้ก็จะเสมือนกับว่าขาดการติดต่อกับกลุ่มของข้อมูล และจะส่งผลถึงคอมโพเนนต์ต่างๆ ที่ใช้ DataSource นี้ด้วย

เมธอด ของ DataSource

- IsLinkedTo มีรูปแบบการใช้งานดังนี้
  function IsLinkedTo(DataSet : T DataSet) : Boolean;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราต้องการตรวจสอบว่า DataSource มีกลุ่มของข้อมูลตัวใดใช้งานอยู่เราจะใช้เมธอดนี้ในการตรวจสอบ โดยการส่งชื่อของกลุ่มของข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบเข้าไป ถ้ากลุ่มของข้อมูลที่ส่งเข้าไปนั้น ใช้งาน DataSource อยู่จะส่งค่า True กลับมา แต่ถ้าไม่ได้ใช้จะส่งค่า False กลับมา

Event ของ DataSource

- OnDataChange จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่บันทึกไว้ในปัจจุบัน หรือเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปยังข้อมูลที่บันทึกอื่น ๆ

1.8 ADOTable

ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลในตาราง (Table) จากแหล่งของข้อมูลที่มีการติดต่อ โดยที่จะเข้าถึงข้อมูลได้เพียง 1 ตารางเท่านั้นในขณะใดขณะหนึ่ง

พร็อพเพอร์ตี้ ของ ADOTable

- Active ถ้าเป็น True จะสามารถใช้งานข้อมูลในตารางได้
- *BOF ถ้าเป็น True แสดงว่าตัวชี้อยู่ที่ตำแหน่งแรกของตาราง*
- Connection กำหนดคอมโพเนนต์ที่ต้องการใช้ในการเชื่อมต่อฐานข้อมูล
- ConnectionString เป็นการกำหนดข้อมูลเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อฐานข้อมูล
- EOF ถ้าเป็น True แสดงว่าตัวชี้อยู่ที่ตำแหน่งสุดท้ายของตาราง
- FieldCount เป็นการนับจำนวนฟิลด์ที่มีทั้งหมดในตาราง
- *FieldValue กำหนดค่าให้กับฟิลด์ของตาราง*
- Filter กำหนดค่าเพื่อใช้ในการกรองข้อมูล
- Filtered ถ้าเป็น True ข้อมูลจะถูกกรองตามเงื่อนไขตามพร็อพเพอร์ตี้ของ Filter
- TableName กำหนดชื่อตารางที่ต้องการนำมาใช้จากฐานข้อมูลที่กำหนด

เมธอด ของ ADOTable

- Close ปิดการติดต่อกับตารางในฐานข้อมูล
- Open เปิดการติดต่อกับตารางในฐานข้อมูล
- FieldByName ใช้ดึงรายละเอียดของแต่ละฟิลด์โดยใช้ชื่อฟิลด์ ในการอ้างอิงข้อมูล
- FindKey ใช้ค้นหาข้อมูลจากตารางที่มีการสร้างตัวอ้างอิงไว้ โดยกำหนดค่าที่ต้องการค้นหา
- FindNearest คล้ายกับ FindKey แต่ถ้าค้นข้อมูลไม่พบตัวชี้จะชี้ไปยังตำแหน่งแรกของข้อมูลที่มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Locate ใช้ในการค้นหาข้อมูลที่ต้องการแต่ไม่จำเป็นที่ตารางนั้นจะต้องมีตัวอ้างอิงก็ได้

1.9 ADOConnection

ADOConnection เป็นคอมโพเนนต์ที่เป็น ออปเจกต์ คอนเน็คชั่น (Object Connection) จะทำหน้าที่ในการติดต่อกับแหล่งข้อมูลรวมทั้งควบคุมเงื่อนไข และสถานะของการติดต่อกับฐานข้อมูลนั้น

พร็อพเพอร์ตี้ ของ ADOConnection

- Connected กำหนดการเชื่อมต่อระหว่างคอมโพเนนต์ ADOconnection กับฐานข้อมูล ถ้าค่าเป็น True แสดงว่ามีการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลอยู่
- ConnectionString เป็นตัวเก็บข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล
- LoginPrompt ใช้ในการกำหนดให้แสดงกล่องรับข้อความ เพื่อรับข้อมูลผู้ใช้งาน และรหัสผ่านในการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลหรือไม่ ถ้าต้องการใช้ให้กำหนดเป็น True

เมธอด ของ ADOConnection

- Open ใช้เพื่อเปิดการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล
- Close ใช้เพื่อปิดการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล
- GetFieldNames ใช้ดึงรายชื่อฟิลด์ทั้งหมดในตารางที่กำหนด ซึ่งมีรูปแบบดังนี้
  procedure GetFieldNames(Const TableName : String; List : TStrings);
- GetTableNames ใช้ดึงรายชื่อ Table ทั้งหมดในฐานข้อมูลหรือ Alias ที่กำหนด ซึ่งมีรูปแบบดังนี้
  procedure GetTableNames(List : TString; SystemTables : Boolean = False);

1.10 ADOQuery

ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลในตารางจากแหล่งข้อมูลที่ทำการติดต่อผ่านพร็อพเพอร์ตี้ Connection หรือ ConnectionString โดยเราสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ตั้งแต่ 1 ตารางขึ้นไป การเข้าถึงข้อมูลและจัดการกับข้อมูลในตารางนี้ สามารถทำได้โดยทำการรันคำสั่ง SQL ที่กำหนดขึ้นมา

พร็อพเพอร์ตี้ ของ ADOQuery

- Active ถ้ากำหนดเป็น True จะสามารถใช้ข้อมูลจาก Query ได้
- Connection กำหนดคอมโพเนนต์ที่ต้องการใช้ในการเชื่อมต่อฐานข้อมูล
- ConnectionString กำหนดข้อมูลเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Parameters กำหนดค่าที่ต้องการส่งเข้าไปยังคำสั่งเพื่อทำให้คำสั่งสมบูรณ์
- RecordCount นับจำนวนข้อมูลที่บันทึกไว้ ที่ได้จากการดึงข้อมูล
- SQL ใช้เก็บคำสั่ง SQL ที่ใช้ในการจัดการกับข้อมูล โดยสามารถจัดเก็บได้เพียง 1 ชุดคำสั่งเท่านั้น

เมธอด ของ ADOQuery

- ExecSQL สั่งให้ทำงานตามคำสั่ง SQL โดยเมธอดนี้จะใช้ในกรณีที่ไม่มีการส่งกลุ่มข้อมูลกลับมา เช่น INSERT, DELETE และ UPDATE เป็นต้น ส่วนคำสั่ง SELECT จะใช้ Open แทน
- Open สั่งให้ทำงานตามคำสั่ง SQL เหมือนกับ ExecSQL แต่ใช้กับคำสั่งในการดึงข้อมูล คือ SELECT
- ParamByName ใช้กำหนดค่าให้กับ Parameter ที่ถูกกำหนดขึ้นในคำสั่ง SQL

1.11 ComPort

ใช้ในเพื่อตั้งค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม และเพื่อที่จะกำหนดช่องทางในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมว่าจะติดต่อกันทางใด และแบบใด

พร็อพเพอร์ตี้ ของ ComPort

- BaudRate เป็นตัวกำหนดความเร็วในการติดต่อระหว่างพอร์ตอนุกรม
- Buffer เป็นตัวกำหนดขนาดของข้อมูลที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล
- Connected กำหนดให้ว่าเมื่อทำการรันโปรแกรมแล้วจะทำการเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมที่กำหนดไว้เลยหรือไม่ ถ้าเป็น True จะเชื่อมต่อเลย ถ้าเป็น False จะไม่เชื่อมต่อ
- DataBits กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งหรือรับข้อมูล 1 ไบท์
- DiscardNull ถ้าเป็น True จะละทิ้งไบท์ที่ไม่สำคัญ และถ้าเป็น False จะไม่ละทิ้งไบท์ที่ไม่สำคัญ
- EventChar ค่าของ ASCII โค้ด
- Event เป็นการกำหนดให้ทำงาน True หรือไม่ทำงาน False ตามเหตุการณ์ต่าง ๆ
- FlowControl เป็นการกำหนดค่ารูปแบบของการส่งข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม
- Name เป็นการกำหนดชื่ออ้างอิงให้กับ ComPort
- Parity กำหนดว่าจะมีการตรวจสอบพาริตี้บิต Parity Bits ที่ใช้ในการส่งหรือรับข้อมูลหรือไม่ และต้องจะตรวจสอบแบบใด
- Port เป็นการตั้งค่าพอร์ตอนุกรมที่ใช้ในการติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- StopBits จำนวนของ StopBits ที่ใช้โดยที่จะมี 3 ค่า คือ sbOneStopBit คือ ข้อมูล 1 ไบท์จะมี StopBits 1 ตัว sbOne5StopBits คือ ข้อมูล 1 ไบท์จะมี StopBits 1.5 ตัว และ sbTwoStopBits คือ ข้อมูล 1 ไบท์จะมี StopBits 2 ตัว
- Syncเมธอด วิธีการจัดการกับเหตุการณ์ มีด้วยการ 3 แบบ คือ smThreadSync จะใช้ในลักษณะปกติทั่วไป smWindowSync จะใช้ใน Windows NT smNone จะใช้ในลักษณะพิเศษ
- Tag เป็นการกำหนดลำดับหมายเลขของ ComPort
- Timeouts เป็นตัวกำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลให้สมบูรณ์

เมธอด ของ ComPort

- Close ปิดการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม
- Open เปิดการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม
- ReadStr เป็นการอ่านข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ในตัวแปรประเภทข้อความ (String) มีการใช้ดังนี้ ComPort1.ReadStr(Str, Count);
- ShowSetupDialog เป็นการเรียกข้อมูลในการตั้งค่าต่าง ๆ ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

Event ของ ComPort

- OnAfterClose เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหลังจากเมื่อมีการปิด ComPort
- OnAfterOpen เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหลังจากเมื่อมีการเปิด ComPort
- OnBeforeClose เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนเมื่อมีการปิด ComPort
- OnBeforeOpen เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนเมื่อมีการเปิด ComPort
- OnRxChar เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการรับข้อมูลมา

มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามาตรฐาน LINE LOSS

❑ ค่ามาตรฐานสูงสุดที่กำหนด

Voice : Overall Line Loss สำหรับข่ายสายท้องถิ่นคิดจาก MDF ถึงตู้พักปลายทางไกลสุด จะต้องมีค่า ≤ 7 dB ที่ความถี่ 1 kHz [1] [2]

Low Speed Voice : Overall Line Loss จากโมเดมต้นทางถึงโมเดมปลายทางจะต้องมีค่า ≤ 16 dB สำหรับข่ายสายท้องถิ่นแบบ 4 Wires ควรจะเป็น ≤ 8 dB ที่ความถี่ 1.8 kHz อนุโลมตาม [3]

❑ ตารางค่า Line Loss มาตรฐานของคู่สายเคเบิล ต่อความยาวเคเบิล 1 กม. ณ อุณหภูมิ 20 °C [4][5][6][7]

ประเภทสื่อสารข้อมูล	ความถี่ (kHz)	เส้นผ่าศูนย์กลางทองแดง (มม.)				
		0.9	0.65	0.5	0.4	
VOICE	1	0.78	1.12	1.42	1.81	A (dB/km)
LOW SPEED	1.8	1.01	1.49	1.91	2.40	
VOICE	3	1.24	1.87	2.40	3.08	

A = Attenuation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้